

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

TREBALL DE FI DE GRAU

---

**Comparació de l'ús de plantilles de  
pressió plantar amb l'ús de plaques de  
força per a realitzar un estudi biomecànic.**

---

*Autor:*  
Marc ROMEU CASAS

*Directora:*  
Rosa PÀMIES VILÀ

*Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials  
a l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona*

**Centre de Recerca en Enginyeria Biomèdica  
Departament d'Enginyeria Mecànica**

24 de juny de 2019





UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

## *Resum*

ETSEIB

Departament d'Enginyeria Mecànica

Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials

**Comparació de l'ús de plantilles de pressió plantar amb l'ús de plaques de força  
per a realitzar un estudi biomecànic.**

Marc ROMEU CASAS

En aquesta memòria es troben els resultats de comparar dos mètodes per obtenir les forces i moments de contacte entre les plantes dels peus i el terra. Per una banda, les plaques de força que s'utilitzen com a referència i, per altra banda, les plantilles de pressió. La comparació es fa amb els moments articulars de flexió de les extremitats inferiors que s'han trobat a partir de fer dinàmica inversa.



## *Agraïments*

M'agradaria expressar el meu agraïment a la Dr. Rosa Pàmies Vilà per la seva orientació, temps i dedicació que han fet possible la realització d'aquest treball a part d'introduir-me i guiar-me en el món de la biomecànica.

També he de donar gràcies al Centre de Recerca en Enginyeria Biomèdica per deixar-me utilitzar laboratori i l'equipament així com el programari necessari per recollir i tractar les dades.



# Índex

<b>Resum</b>	<b>iii</b>
<b>Agraïments</b>	<b>v</b>
<b>1 Prefaci</b>	<b>1</b>
1.1 Origen del projecte . . . . .	1
1.2 Requeriments previs . . . . .	1
<b>2 Introducció</b>	<b>3</b>
2.1 Objectius del projecte . . . . .	3
2.2 Abast del projecte . . . . .	3
2.3 Problemàtiques trobades . . . . .	3
<b>3 Estat de l'art. Estudi de la viabilitat tècnica</b>	<b>5</b>
3.1 Estudis previs . . . . .	5
<b>4 Materials i mètodes</b>	<b>7</b>
4.1 Laboratori de Biomecànica . . . . .	7
4.1.1 Plaques de força . . . . .	7
4.1.2 Plantilles de pressió . . . . .	8
4.1.3 Sistema òptic . . . . .	9
4.2 Model biomecànic . . . . .	9
4.3 Procediment experimental . . . . .	10
4.4 Recollida i anàlisi de dades . . . . .	13
4.4.1 F-Scan 7.0 . . . . .	15
4.4.2 Motive . . . . .	16
4.4.3 OpenSim . . . . .	17
4.4.4 Python i Matlab . . . . .	18
4.5 Obtenció del torsor d'enllaç peu-terra amb plantilles de pressió . . . . .	19
4.6 Mètodes d'avaluació de les diferències . . . . .	22
4.7 Moviments analitzats . . . . .	23
4.7.1 Caminar . . . . .	23
4.7.2 Drop Jump . . . . .	24
4.7.3 Pujar i baixar escales . . . . .	24
4.7.4 Aixecar-se i asseure's en una cadira . . . . .	25
<b>5 Resultats</b>	<b>27</b>
5.1 Moments articulars de les extremitats inferiors . . . . .	27
5.1.1 Caminar . . . . .	28
5.1.2 Drop Jump . . . . .	29
5.1.3 Pujar i baixar escales . . . . .	31

5.1.4	Aixercar-se i asseure's en una cadira . . . . .	33
5.2	Diferències en els moments articulars . . . . .	34
5.2.1	Caminar . . . . .	34
5.2.2	Drop Jump . . . . .	35
5.2.3	Pujar i baixar escales . . . . .	36
5.2.4	Aixercar-se i asseure's en una cadira . . . . .	37
5.3	Gràfics de síntesi de les NRMS . . . . .	39
<b>6</b>	<b>Discusió</b>	<b>41</b>
<b>7</b>	<b>Cost de realització i impacte del projecte</b>	<b>43</b>
7.1	Cost . . . . .	43
7.2	Impacte mediambiental . . . . .	43
7.3	Impacte social . . . . .	43
<b>8</b>	<b>Conclusions</b>	<b>45</b>
	<b>Bibliografia</b>	<b>47</b>

# Índex de figures

4.1	Plaques de força utilitzades. . . . .	8
4.2	Plantilles de pressió utilitzades. . . . .	8
4.3	Càmera del sistema òptic i estructura que subjecta a dues de les càmeres en el laboratori . . . . .	9
4.4	Model utilitzat per dur a terme l'anàlisi biomecànica. . . . .	10
4.5	Sistema de referència emprat en aquest treball. . . . .	10
4.6	Connexió de les plantilles amb el dispositiu Datalogger VersaTek Unit. . . . .	11
4.7	Connexió de les plantilles amb el dispositiu Datalogger VersaTek Unit durant la captura. . . . .	11
4.8	Eina " <i>Optitrack Calibration Wand</i> " per calibrar el sistema òptic. . . . .	12
4.9	Estructura metàl·lica utilitzada en el calibratge del terra. . . . .	12
4.10	Disposició dels marcadors i les plantilles durant la captura dels moviments. . . . .	13
4.11	Esquema simplificat del procediment seguit en el tractament de dades . . . . .	14
4.12	Captura de pantalla del programa F-Scan on es pot veure la distribució i el centre de pressions en un fotograma. . . . .	15
4.13	Captura de pantalla de la visualització del fitxer .csv exportat del programa F-Scan en un full de càlcul. Els colors estan afegits per clarificar el dibuix. La unitat de les pressions és kPa. . . . .	16
4.14	Captura de pantalla del programa Motive. En aquesta figura la persona està davant de les plaques apunt de caminar-hi pel damunt. . . . .	17
4.15	Captura de pantalla del programa Motive on es poden veure els marcadors d'una persona caminant. . . . .	17
4.16	Captura de pantalla del programa OpenSim. . . . .	18
4.17	Eixos locals dels tres marcadors i del centre de pressions. . . . .	20
4.18	Coordenades dels centres de les plaques respecte les coordenades globals. . . . .	22
4.19	Moviment de caminar . . . . .	24
4.20	Moviment Drop Jump . . . . .	24
4.21	Moviment de pujar i baixar escales . . . . .	25
4.22	Moviment d'aixecar-se i asseure's en una cadira . . . . .	25
5.1	Gràfiques dels moments articulars durant el moviment de caminar. Les línies de colors corresponen als resultats obtinguts de les plaques. Les línies negres corresponen als de les plantilles. . . . .	28
5.2	Gràfiques dels moments articulars durant el Drop Jump I. Les línies de colors corresponen als resultats obtinguts de les plaques. Les línies negres corresponen als de les plantilles. . . . .	29

5.3	Gràfiques dels moments articulars durant el Drop Jump II. Les línies de colors corresponen als resultats obtinguts de les plaques. Les línies negres corresponen als de les plantilles. . . . .	30
5.4	Gràfiques dels moments articulars durant la pujada d'escalas. Les línies de colors corresponen als resultats obtinguts de les plaques. Les línies negres corresponen als de les plantilles. . . . .	31
5.5	Gràfiques dels moments articulars durant la baixada d'escalas. Les línies de colors corresponen als resultats obtinguts de les plaques. Les línies negres corresponen als de les plantilles. . . . .	32
5.6	Gràfiques dels moments articulars durant el moviment d'aixecar-se de la cadira. Les línies de colors corresponen als resultats obtinguts de les plaques. Les línies negres corresponen als de les plantilles. . . .	33
5.7	Gràfiques dels moments articulars durant el moviment d'asseure's a la cadira. Les línies de colors corresponen als resultats obtinguts de les plaques. Les línies negres corresponen als de les plantilles. . . . .	34
5.8	Representació gràfica de les NRMS en el moviment de caminar. . . . .	35
5.9	Representació gràfica de les NRMS en el moviment Drop Jump. . . . .	36
5.10	Representació gràfica de les NRMS en el moviment de pujar escalas. . . .	36
5.11	Representació gràfica de les NRMS en el moviment de baixar escalas. . . .	37
5.12	Representació gràfica de les NRMS en el moviment de pujar escalas. . . .	38
5.13	Representació gràfica de les NRMS en el moviment de baixar escalas. . . .	38
5.14	Representació gràfica de les NRMS de tots els moviments utilitzant $F_y$ , $M_x$ i $M_z$ . . . . .	39
5.15	Representació gràfica de les NRMS de tots els moviments utilitzant $F_y$ . . . . .	39



# Índex de taules

5.1	Valors de la mitjana i la desviació estàndard de les NRMS de les diferències entre els moments articulars obtinguts a partir de les plantilles i els obtinguts a partir de les plaques en el moviment de caminar. . . .	35
5.2	Valors de les NRMS de les diferències entre els moments articulars obtinguts a partir de les plantilles i els obtinguts a partir de les plaques en el moviment Drop Jump. . . . .	35
5.3	Valors de les NRMS de les diferències entre els moments articulars obtinguts a partir de les plantilles i els obtinguts a partir de les plaques en el moviment de pujar escales. . . . .	36
5.4	Valors de les NRMS de les diferències entre els moments articulars obtinguts a partir de les plantilles i els obtinguts a partir de les plaques en el moviment de baixar escales. . . . .	37
5.5	Valors de les NRMS de les diferències entre els moments articulars obtinguts a partir de les plantilles i els obtinguts a partir de les plaques en el moviment d'aixecar-se d'una cadira. . . . .	37
5.6	Valors de les NRMS de les diferències entre els moments articulars obtinguts a partir de les plantilles i els obtinguts a partir de les plaques en el moviment d'asseure's en una cadira. . . . .	38



# 1 Prefaci

## 1.1 Origen del projecte

Aquest projecte surt de la necessitat de voler calcular els moments articulars en un estudi biomecànic d'un moviment, utilitzant dinàmica inversa en un entorn en que no es disposa de plaques de força. En aquest projecte s'utilitzen plantilles de pressió plantar a fi d'obtenir les forces verticals de contacte amb el terra. Els moments articulars de les extremitats inferiors s'utilitzen com a indicadors en certs estudis mèdics. Els moments articulars són els moments interns que fa la musculatura de les articulacions.

Les plantilles de pressió permeten mesurar les forces verticals del terra durant un moviment sense necessitat de disposar d'unes plaques de força instal·lades. Això permet realitzar captures del moviment d'una persona sense que hagi de desplaçar-se a un centre que disposi d'aquest aparell. Tot i això, és important saber que preparar un entorn de captura no és senzill ja que requereix el sistema de captura dels marcadors, així com amb el programari necessari per a prendre les mesures de les plantilles i les càmeres.

Per altra banda, les plantilles mesuren la força vertical durant tot el moviment. En el cas de les plaques, només es té tota la informació del torsor d'enllaç peu-terra quan la persona està totalment recolzada en les plaques. En canvi, els moments articulars obtinguts a partir de les plantilles, serien fiables en el transcurs de tot el moviment, a falta de comprovar la fiabilitat de les plantilles en els diferents moviments.

El torsor d'enllaç que proporcionen les plaques és complet (consta de les forces i moments en els tres eixos) i té una major precisió que les plantilles. A partir de les plantilles només es pot obtenir la força vertical de forma directe. En aquest treball es calculen els moments en direcció paral·lela al terra a partir d'aquesta força.

## 1.2 Requeriments previs

Per a la realització d'aquest projecte, ha calgut aprendre el funcionament del programa OpenSim 4.0 a fi de poder realitzar l'estudi de dinàmica inversa a partir de la presa de dades al laboratori.

També ha sigut necessari familiaritzar-se amb el procediment de presa de dades en el laboratori així com amb tots els formats de fitxers que s'ha utilitzat durant el desenvolupament del treball.



## 2 Introducció

### 2.1 Objectius del projecte

L'objectiu principal d'aquest projecte és mesurar les diferències que hi ha entre els moments articulars obtinguts a partir del torsor d'enllaç peu-terra mesurat per plaques de força amb els obtinguts a partir del torsor d'enllaç que s'ha estimat de les mesures de les plantilles. Aquesta comparació es farà per diferents tipus de moviment.

Un altre objectiu d'aquest projecte és l'aprenentatge i introducció al món de la biomecànica. Aquesta és una disciplina que no s'estudia de forma obligatòria durant el grau.

### 2.2 Abast del projecte

En aquesta memòria es pot trobar la descripció del procediment emprat per arribar als resultats finals del treball, així com els diferents programes i equipaments que s'han utilitzat. Els resultats finals presenten les diferències entre els moments articulars de les extremitats inferiors de les cames obtinguts pels dos mètodes d'obtenció del torsor d'enllaç peu-terra. També s'hi inclou el procediment emprat per calcular el moment en direcció paral·lela al terra a partir de la força vertical que proporcionen les plantilles.

Les diferències s'han calculat per quatre moviments diferents: caminar, Drop Jump, pujar/baixar escales i aixecar-se/asseure's d'una cadira. S'ha utilitzat entre 6 i 10 repeticions de cada moviment i tots fets per la mateixa persona.

### 2.3 Problemàtiques trobades

Una de les complicacions a l'hora de realitzar el projecte, ha estat la sincronització temporal dels tres sistemes de mesura (plaques, plantilles i càmeres). Per poder sincronitzar les plantilles i les plaques, es van fer tres salts sobre les plaques a l'inici de cada moviment, per així poder fer coincidir els pics de força registrats pels dos mètodes.

Una altra complicació va ser l'obtenció del centre de pressions en les coordenades globals del laboratori, ja que ha suposat la utilització d'un gran nombre de fitxers de tots els sistemes de mesura simultàniament.



## 3 Estat de l'art. Estudi de la viabilitat tècnica

### 3.1 Estudis previs

Aquest projecte sorgeix de la necessitat d'avaluar les diferències entre l'ús de plaques de força amb l'ús de plantilles de pressió per dur a terme una anàlisi biomecànica.

Entre els articles que busquen fer aquesta comparativa, destaca l'article [2]. En aquest article publicat per la revista *Journal of Sport Sciences* es comparen tres sistemes de mesura de les forces verticals del terra sobre el peu, dos d'ells són plantilles i l'altre plaques. L'objectiu principal de l'article no és calcular les diferències entre l'ús de plantilles amb l'ús de plaques de força, sinó que és el de comprovar la validesa d'un dels models de plantilles. Per fer-ho, calcula les diferències entre aquest model de plantilles i els dos altres productes. En aquest article però, es comparen els tres mètodes dos a dos. En el cas de la comparativa entre les plaques i el model de plantilles PedarX, les diferències entre les variables escollides per a fer l'anàlisi són molt petites. Com a variables s'utilitzen els diferents pics de forces, la força mínima durant el moviment, l'impuls, entre altres.

Un altre article relacionat és el [1], en el que s'estudia repetibilitat de tres models diferents de plantilles. Els tres models són de les empreses Pedar, Medilogic i Tekscan. Aquesta darrera, és la utilitzada en aquest projecte.





## 4 Materials i mètodes

### 4.1 Laboratori de Biomecànica

Aquest projecte s'ha desenvolupat amb l'equipament del laboratori de biomecànica del Centre de Recerca en Enginyeria Biomèdica (CREB), situat a l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona. Allà s'ha pogut realitzar la captura de totes les dades utilitzades per obtenir els resultats d'aquest treball.

En el laboratori del CREB, es disposa d'unes plaques de força instal·lades a terra i un sistema òptic de càmeres d'infrarojos amb les que es pot registrar la posició dels marcadors durant la captura. També s'ha utilitzat un parell de plantilles de pressió plantar.

A continuació es descriuen aquests tres elements.

#### 4.1.1 Plaques de força

Les plaques de força són dues plataformes que mesuren les forces i moments de contacte entre els peus i el terra així com el punt d'aplicació de la força. És a dir, que es pot obtenir el torsor d'enllaç complet entre el peu i el terra. En el laboratori de Biomecànica s'utilitza el model AccuGait de l'empresa AMTI.

Aquestes plaques utilitzen l'efecte Hall per mesurar les forces de reacció del terra contra els peus.

Per adquirir les dades de les plaques, s'utilitza el programari AMTI NetForce juntament amb un programa de Matlab. Així s'obté el registre de les forces i moments de la captura.

El resultat de la captura amb les plaques és un fitxer .mat on cada columna és una força o moment, i cada fila és un fotograma de la captura. Com que tenim tres moments i tres forces per a cada peu, el fitxer conté 12 columnes amb forces i moments més una columna addicional que serveix per sincronitzar la captura de les plaques amb la captura de les càmeres. La sincronització entre les plaques i les càmeres s'explica en l'apartat 4.4.4.



FIGURA 4.1: Plaques de força utilitzades.

#### 4.1.2 Plantilles de pressió

Les plantilles de pressió pertanyen al laboratori de biomecànica però es poden utilitzar en qualsevol altre entorn. Tot i això, cal tenir el programari adequat per a poder registrar les forces de les plantilles.

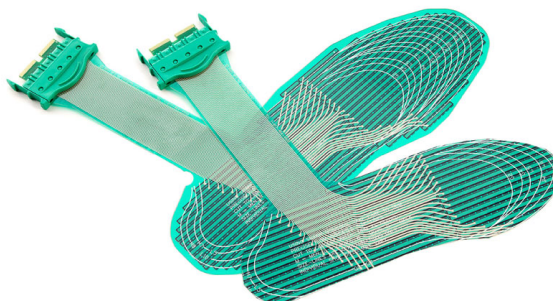


FIGURA 4.2: Plantilles de pressió utilitzades.

*FONT: <https://www.tekscan.com/products-solutions/systems/f-scan-system>*

Per a fer aquest treball s'ha disposat del sistema de captura Tekscan F-Scan. Aquest, juntament amb el dispositiu Datalogger VersaTek Unit, permet registrar de forma inal·làmbrica la pressió entre el peu i el terra en diferents punts al llarg de tota la planta del peu així com el centre de pressions de la mateixa

Per poder capturar les pressions i el centre de pressions, s'utilitza el programa F-Scan 7.0, que guarda les mesures en un fitxer .fsx. Posteriorment a la captura, es poden obtenir directament dos fitxers .csv amb tota la informació que capturen les plantilles. Aquests fitxers es descriuen en l'apartat 4.4.1.

### 4.1.3 Sistema òptic

Al voltant del laboratori hi ha col·locades 16 càmeres d'infrarojos NaturalPoint OptiTrack Flex 3. Amb aquestes càmeres, es poden obtenir les trajectòries dels marcadors amb una freqüència de 100 Hz. Per aquest motiu, s'han configurat les plantilles i les plaques per tal que enregistren a la mateixa freqüència. Per tal de registrar la posició d'un marcador en un instant de temps, cal que sigui vist per quatre càmeres com a mínim en aquell instant de temps.

El programa utilitzat per capturar les trajectòries s'anomena Motive (vegeu 4.4.2).



FIGURA 4.3: Càmera del sistema òptic i estructura que subjecta a dues de les càmeres en el laboratori

## 4.2 Model biomecànic

El model utilitzat en aquest treball és un esquelet humà simplificat a 20 sòlids rígids amb els quals es constitueixen tots els ossos del cos humà. Afegint les restriccions de moviment entre sòlids, al sistema li resten 31 graus de llibertat.

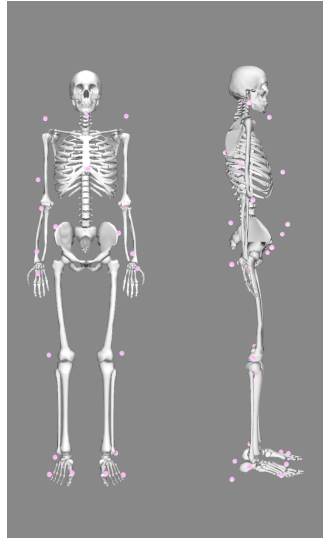


FIGURA 4.4: Model utilitzat per dur a terme l'anàlisi biomecànica.

Aquest model consta de 31 marcadors (indicats amb punts de color rosa), per tant, en realitzar les captures, la persona ha de portar posats els 31 marcadors en les parts del cos corresponents.

Durant tot el treball s'ha treballat el sistema de referència que mostra la següent figura. Aquest és solidari al laboratori.

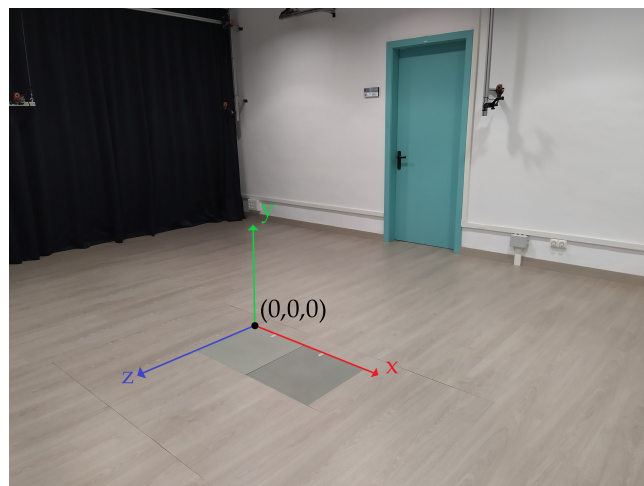


FIGURA 4.5: Sistema de referència emprat en aquest treball.

### 4.3 Procediment experimental

Per a poder capturar les dades d'un moviment en el laboratori, primer cal preparar les diferents eines i materials que s'utilitzaran. En aquest cas, es requereix els tres elements que s'han mencionat en l'apartat 4.1.

En el cas de les plantilles, primer de tot cal connectar les dues plantilles amb el dispositiu emissor Datalogger VersaTek Unit, que és el que envia les dades a l'ordinador a través de connexió Wi-Fi. En la següent figura es mostra aquesta connexió amb una altra connexió addicional d'un cable de color negre, que en aquest cas no

s'ha utilitzat.

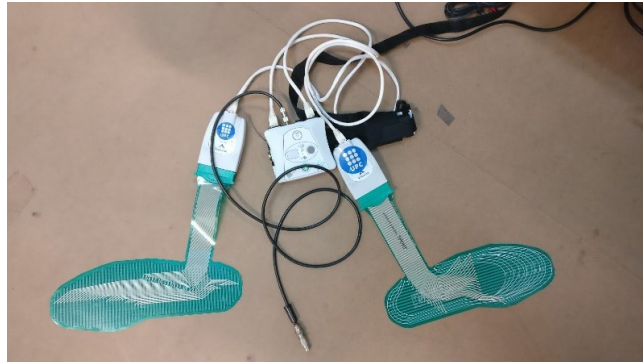


FIGURA 4.6: Connexió de les plantilles amb el dispositiu Datalogger VersaTek Unit.



FIGURA 4.7: Connexió de les plantilles amb el dispositiu Datalogger VersaTek Unit durant la captura.

Tot seguit, a través del programa F-Scan 7.0, es connecta el dispositiu emissor amb l'ordinador a través de la xarxa Wi-Fi que aquest genera. Quan el programa rep correctament el senyal del dispositiu emissor, es calibren les plantilles utilitzant el pes de la persona que les porta. Per fer-ho, la persona ja ha de portar les plantilles posades correctament i procurant que no hi hagi arrugues o que alguna part de la plantilla quedi aixecada de la planta del peu. Es calibra cada plantilla per separat. El procés de calibratge consisteix a mantenir tot el pes de la persona sobre un sol peu (a peu coix) i després sobre l'altre, tot seguint les instruccions que proporciona el programa.

Per a configurar i preparar el sistema òptic, cal que iniciem el programa Motive. Per a poder capturar les trajectòries dels marcadors, primer de tot cal calibrar les

càmeres per tal de que captin bé l'espai del laboratori. Per fer-ho, es mou una peça d'alumini que conté tres marcadors al seu extrem per tot el laboratori, fins que s'obté el missatge *"Sufficient for Quality: Very High"*. Durant el calibratge, també s'ha comprovat que totes les càmeres tinguin un mínim de 2000 mostres preses.



FIGURA 4.8: Eina *"Optitrack Calibration Wand"* per calibrar el sistema òptic.

Tot seguit, es configuren els eixos de tal forma que siguin paral·lels als de les plaques i els horitzontals passin pel terra. Per fer-ho, es col·loca una estructura metàl·lica amb tres marcadors sobre la placa 1 tal com es mostra a la figura 4.10, i es genera el calibratge dels eixos.



FIGURA 4.9: Estructura metàl·lica utilitzada en el calibratge del terra.

Per acabar de configurar la captura dels marcadors, cal que capturem quina és la posició de les plaques en els eixos configurats anteriorment. Per fer-ho, es col·loca un marcador en cadascun dels vèrtexs de la placa que es vulgui capturar. Un cop fet això, es pren la captura i es guarda l'arxiu, ja que s'utilitzarà posteriorment. Se segueix el mateix procediment per l'altre placa.

Un cop configurada la captura de marcadors, ja es poden posar a la persona que farà els moviments. S'han de col·locar de la forma el més semblant possible al model biomecànic.



En la següent figura es pot observar una persona amb els marcadors i les plantilles posades.

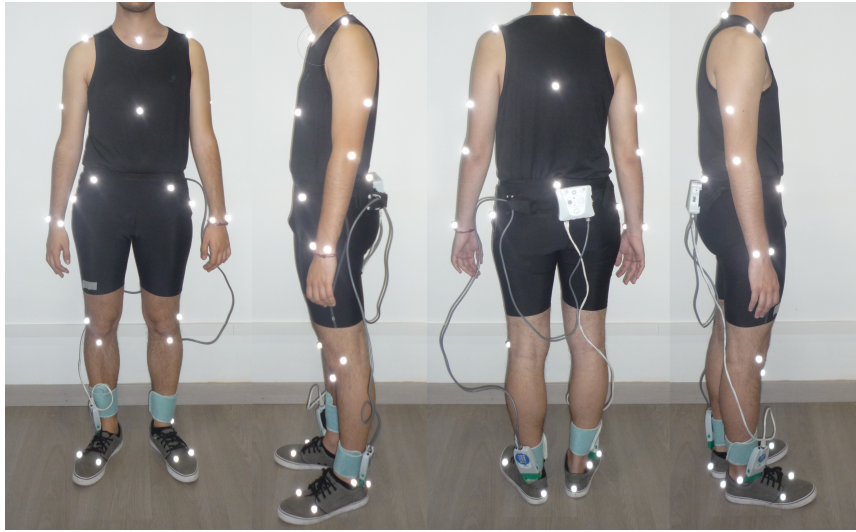


FIGURA 4.10: Disposició dels marcadors i les plantilles durant la captura dels moviments.

Tal com s'ha exposat anteriorment, durant la captura dels moviments s'utilitza sempre la Placa 1 per recolzar-hi la cama dreta i la Placa 2 per a l'esquerra.

#### 4.4 Recollida i anàlisi de dades

Un cop està calibrat correctament tot l'equipament, es pot iniciar la captura de dades. Per fer-ho, cal tenir oberts els tres programes de captura. Primer cal executar el programa de Matlab que inicia la captura de les plaques. És important que al principi i al final de la captura amb les plaques no hi hagi res sobre les mateixes (és a dir que les forces i moments estiguin a zero). Al cap d'uns 5 segons, ja es pot iniciar la captura amb les plantilles i el sistema òptic amb els programes F-Scan i Motive, respectivament.

Posteriorment a la captura, s'han utilitzat els programes F-Scan i Motive per obtenir els fitxers .csv necessaris. Per processar i manipular aquestes dades, s'ha utilitzat complementàriament el Python i el Matlab.

El següent esquema, mostra de forma simplificada quin ha sigut el procés de tractament de dades des de que s'obtenen de la captura, fins a l'obtenció dels resultats finals.

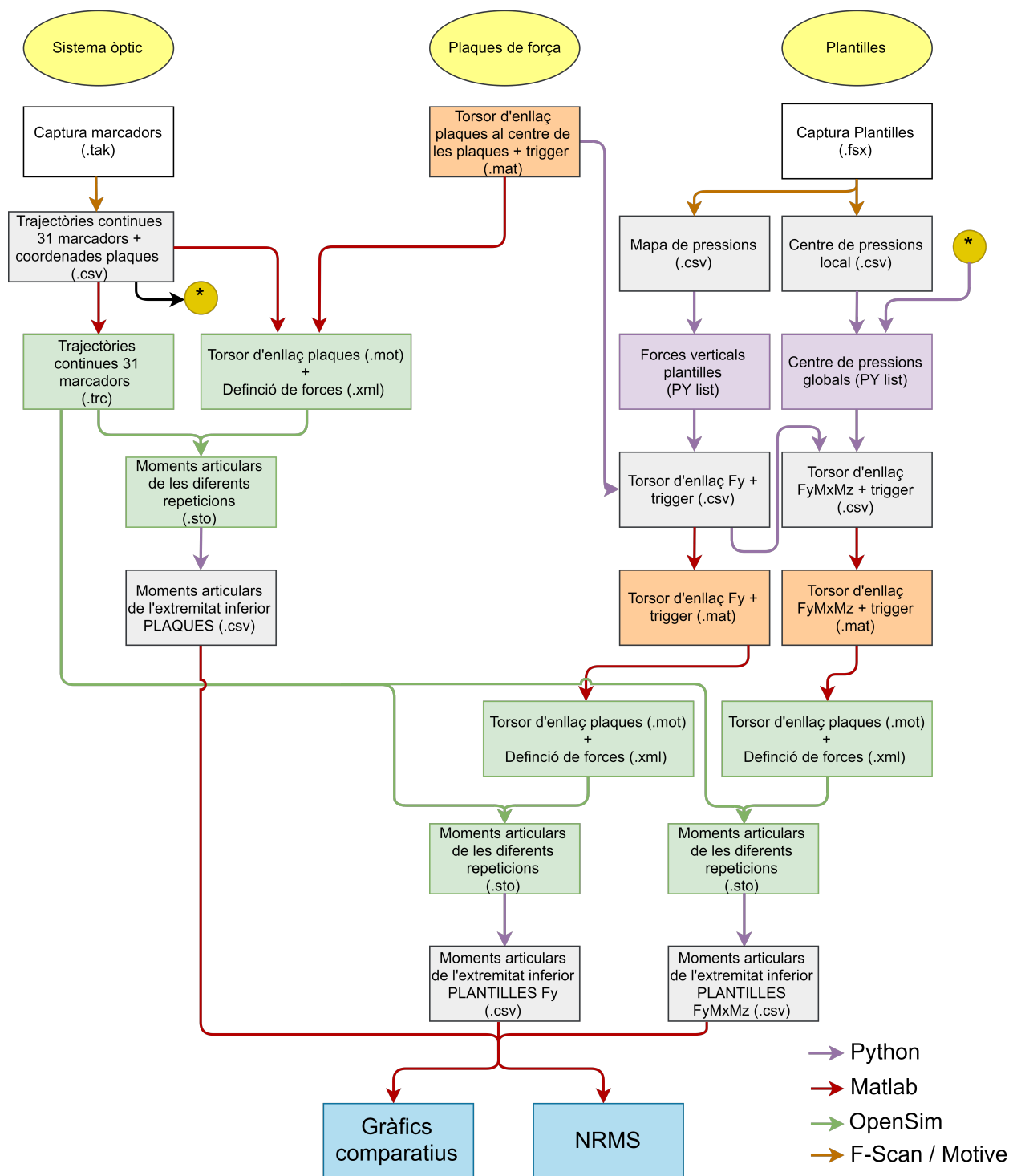


FIGURA 4.11: Esquema simplificat del procediment seguit en el tractament de dades

A continuació, s'exposa breument el programari utilitzat durant el treball i quin ús se n'ha fet de cadascun d'ells.



#### 4.4.1 F-Scan 7.0

Aquest programa registra les pressions que reben els diferents sensors de les plantilles durant la captura. En la figura següent, es pot veure una representació gràfica que mostra el programa durant la captura i que es pot reproduir posteriorment. En aquesta imatge també es pot observar el centre de pressions.

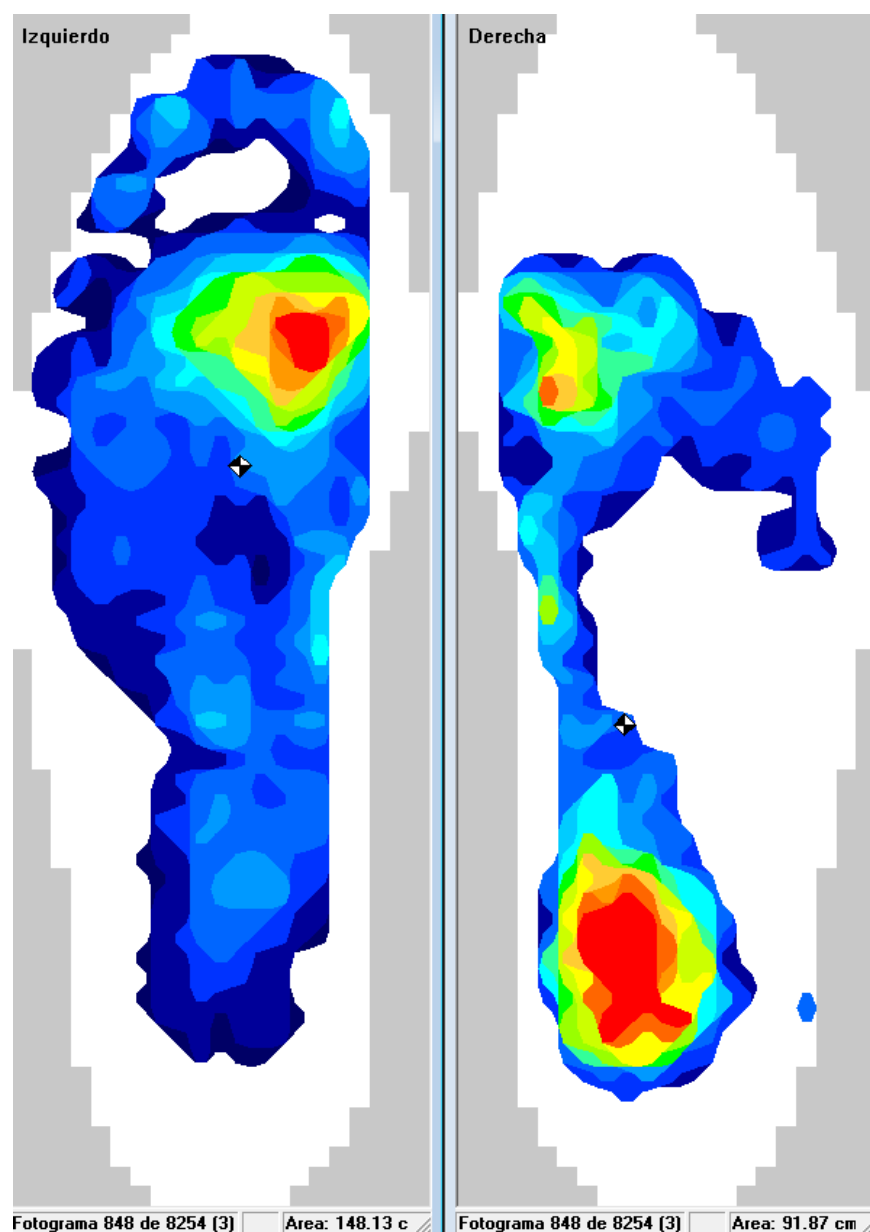


FIGURA 4.12: Captura de pantalla del programa F-Scan on es pot veure la distribució i el centre de pressions en un fotograma.

El programa F-Scan, permet exportar la informació de la captura en diferents fitxers en format .csv. Per realitzar aquest treball, s'han utilitzat dos tipus de fitxers .csv exportats des del F-Scan.

Un d'ells, conté la informació de la pressió que té cada sensor de la plantilla per a cada fotograma. Si es visualitza en un full de càlcul, la informació d'un dels fotogrames ve donada de la forma com es mostra a la figura següent.



la posició de marcadors per instants curts de temps en els que no hi ha informació sobre la trajectòria del marcador. Un cop es tenen tots els marcadors amb una trajectòria contínua, es pot obtenir un fitxer .csv amb les trajectòries. Quan es diu que la trajectòria és contínua, es vol dir que tenim la posició del marcador en tots els instants de temps de la captura.

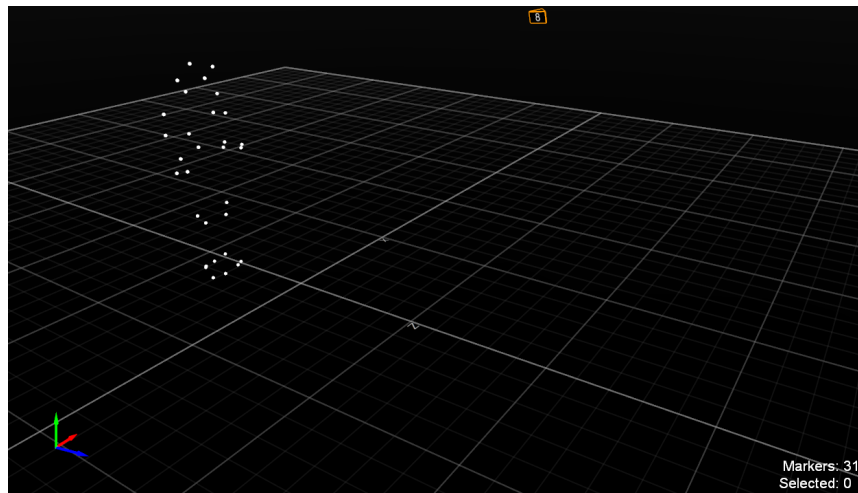


FIGURA 4.14: Captura de pantalla del programa Motive. En aquesta figura la persona està davant de les plaques apunt de caminar-hi pel damunt.

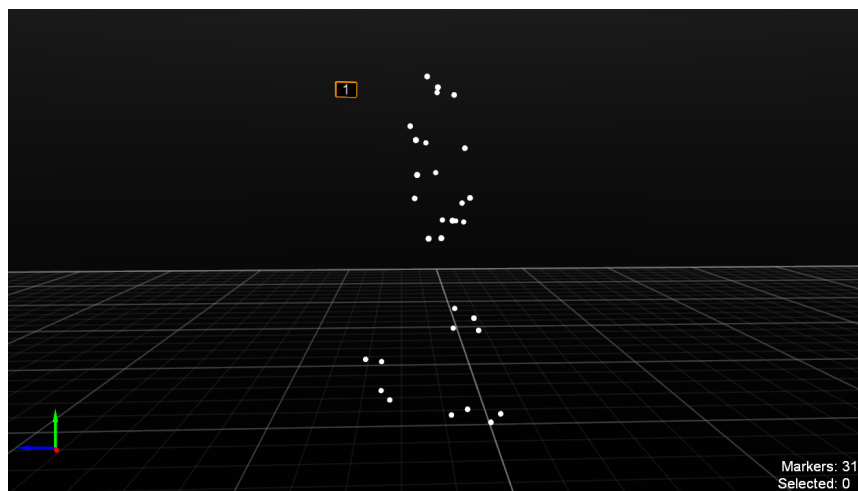


FIGURA 4.15: Captura de pantalla del programa Motive on es poden veure els marcadors d'una persona caminant.

#### 4.4.3 OpenSim

OpenSim és un programa de modelització i simulació del moviment corporal. Consta d'una interfície gràfica que permet visualitzar el model i les simulacions de moviment. En aquest treball, es parteix del model descrit en l'apartat 4.2.

Aquest model genèric s'ha escalat en distàncies i en pesos per tal que els resultats que s'obtinguin s'ajustin al màxim a la realitat. Per fer-ho, s'ha utilitzat l'eina d'escalar que proporciona el programa. En aquesta, s'utilitza una captura estàtica per

escalar les distàncies del model i que siguin com les de la captura. També s'introdueix la massa de la persona, que es reparteix per tots els sòlids que formen el cos d'acord amb l'escalat de distàncies.

Un cop es té el model escalat correctament, es pot fer cinemàtica i dinàmica inversa a partir de les trajectòries i forces de contacte amb el terra.

El fitxer de trajectòries té el format .trc i s'ha obtingut a través d'un programa de Matlab. El mateix programa proporciona el fitxer amb les forces i moments del terra en cadascuna de les plaques en format .mot. Aquests dos fitxers, juntament amb el model i el pes de la persona, són tot el necessari per poder fer la cinemàtica i la dinàmica inversa.

El resultat de la cinemàtica inversa correspon als valors de les coordenades generalitzades del model. Això implica conèixer les posicions de tots els punts de tots els sòlids en cada fotograma. Les velocitats i acceleracions s'obtenen directament a partir de les pressions i de l'increment de temps entre fotogrames.

El resultat final de la dinàmica inversa correspon als moments articulats de les lligadures entre els sòlids.

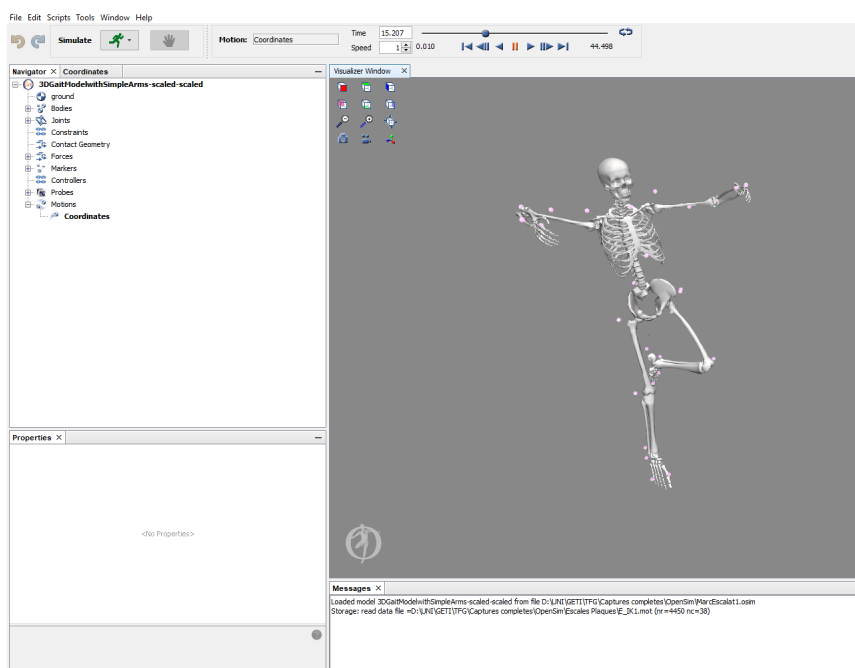


FIGURA 4.16: Captura de pantalla del programa OpenSim.

#### 4.4.4 Python i Matlab

Aquests dos programes s'han utilitzat constantment durant el tractament i visualització de dades d'aquest projecte. En la figura 4.11, es pot veure quin ha sigut el paper d'aquests dos programes durant la seva execució.

Un dels programes de Matlab utilitzats és el que escriu els fitxers .trc i .mot a partir dels fitxers .csv de les plantilles, el .mat de les plaques i els fitxers .csv que contenen la posició de cada placa. Aquest és un programa proporcionat pel laboratori i no

ha hagut de ser implementant en la realització del treball. Una part dels programes desenvolupats en aquest projecte s'han usat per obtenir els fitxers en el format correcte per poder utilitzar aquest programa. En l'apartat següent, s'exposen els càlculs del torsor d'enllaç peu-terra aplicat al centre de la placa corresponent a cada peu.

Quan el comença a gravar la captura amb les càmeres, es genera un senyal que està a nivell alt durant la gravació de les càmeres. Aquest serveix per a sincronitzar les captures de les plaques amb les de les càmeres. El programa descrit en l'apartat anterior, utilitza aquest senyal a l'hora d'escriure els dos fitxers. Així doncs, s'ha d'incloure aquest senyal quan s'escriu la matriu de forces i moments de les plantilles.

## 4.5 Obtenció del torsor d'enllaç peu-terra amb plantilles de pressió

El programa de Matlab que escriu els fitxers .trc i .mot a partir de les trajectòries dels marcadors i del fitxer .mat amb les forces de reacció amb el terra pren el centre de cada placa com a punt o s'han aplicat els moments en totes direccions. A partir de les forces verticals de les plantilles i del centre de pressions cal calcular els moments  $M_x$  i  $M_z$  respecte a aquest mateix punt. Els moments obtinguts relatius a la placa 1, són provocats per les forces de contacte amb el terra sobre aquesta placa i calculats sobre el centre d'aquesta mateixa. De la mateixa forma està fet amb la placa 2. Per tal de fer més senzill el tractament de les dades, en tots els moviments s'ha utilitzat la placa 1 per recolzar el peu dret i la placa 2 pel peu esquerre, tal com s'ha mencionat abans.

Per poder estimar els moments en la direcció X i Z a partir de les forces verticals que s'han registrat amb les plantilles, primer cal trobar el centre de pressions de cada peu respecte al centre de les plaques. En l'apartat 4.4.1, s'ha vist com el programa F-Scan permet obtenir el centre de pressions relatiu al punt superior esquerre de la matriu de pressions per a cada fotograma.

S'han utilitzat les coordenades globals  $(x_i, y_i, z_i)$  i locals  $(x'_i, y'_i)$  de cadascun dels tres marcadors  $i$  del peu. Les coordenades globals són les que s'ha mesurat amb les càmeres. Aquests eixos de coordenades són solidaris al laboratori i tenen origen en un dels vèrtexs de la placa 1. Les coordenades locals dels marcadors són els punts de la matriu de pressions que corresponen aproximadament a la projecció sobre el pla del terra dels tres marcadors. Com que els marcadors no canvien la seva posició respecte al peu,  $(x'_i, y'_i)$  són valors constants per cada marcador de cada peu. Així doncs per cada peu es té:

- Coordenades globals dels marcadors  $(x_1, y_1, z_1)$ ,  $(x_2, y_2, z_2)$  i  $(x_3, y_3, z_3)$  de cada fotograma.
- Coordenades locals dels marcadors  $(x'_1, y'_1)$ ,  $(x'_2, y'_2)$  i  $(x'_3, y'_3)$ .
- Coordenades locals del centre de pressions  $(x'_{cp}, y'_{cp})$  de cada fotograma.

Es defineix un pla  $\pi$  que passa pels tres marcadors.

$$\left. \begin{matrix} (x_1, y_1, z_1) \\ (x_2, y_2, z_2) \\ (x_3, y_3, z_3) \end{matrix} \right\} \pi : Ax + By + Cz + D = 0 \quad (4.1)$$

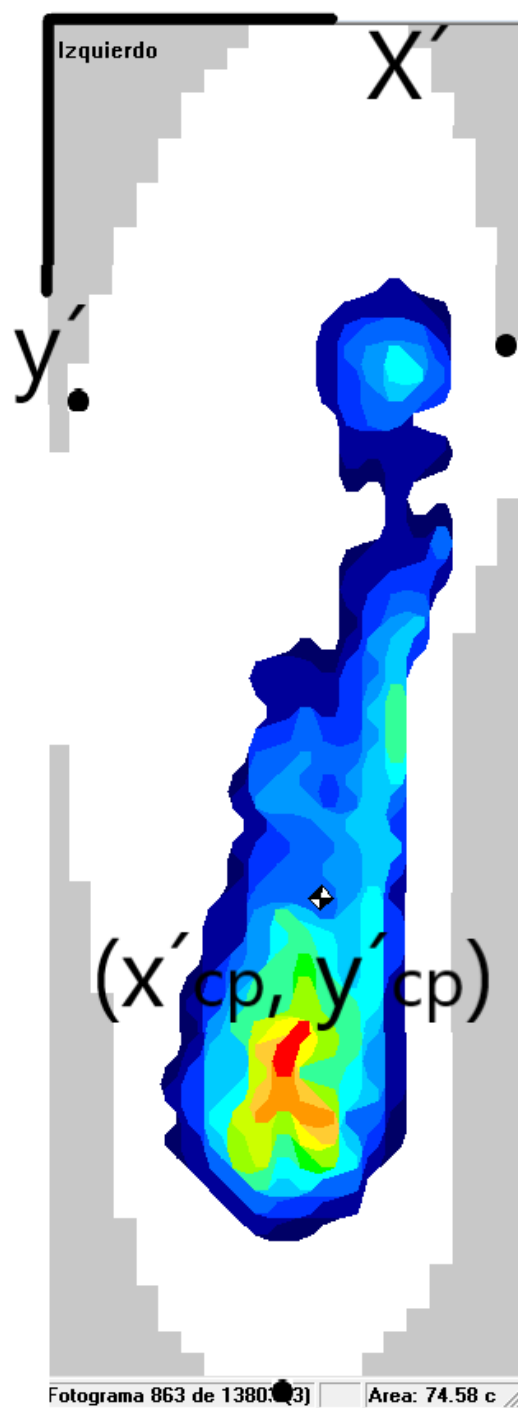


FIGURA 4.17: Eixos locals dels tres marcadors i del centre de pressions.

Així que es té una superfície plana amb dos graus de llibertat, cada punt del pla del terra que s'escull  $(x_0, y_0)$ , correspon a una projecció d'un punt P del pla  $\pi$ . És a dir:

$$(x_0, y_0) \rightarrow P = (x, y, z)$$

on s'ha fet la transformació següent:

$$\left\{ \begin{array}{l} x = x_0 \\ y = y_0 \\ z = -\frac{Ax_0 + By_0 + D}{C} \end{array} \right\}$$

Si es fes un canvi en el eixos amb que definim el punt del terra, el problema seria similar, però les transformacions entre les coordenades del punt del terra  $(x_0, y_0)$  no correspondrien a les coordenades  $(x, y)$  del pla. En aquest cas, es vol obtenir la transformació entre els eixos locals del la plantilla i els globals.

$$P' = (x', y') \rightarrow P = (x, y, z)$$

Per tant es planteja la transformació lineal genèrica següent:

$$\left\{ \begin{array}{l} x = a_x x' + b_x y' + c_x \\ y = a_y x' + b_y y' + c_y \\ z = a_z x' + b_z y' + c_z \end{array} \right\} \quad (4.2)$$

Expressat de forma matricial s'obté:

$$\underbrace{\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}}_P = \underbrace{\begin{bmatrix} a_x & b_x & c_x \\ a_y & b_y & c_y \\ a_z & b_z & c_z \end{bmatrix}}_{[\Phi]} \underbrace{\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix}}_{(P', 1)} \quad (4.3)$$

A partir de les coordenades locals i globals dels tres marcadors es poden obtenir els paràmetres a, b i c de cada coordenada global:

$$\left\{ \begin{array}{l} x_1 = a_x x'_1 + b_x y'_1 + c_x \\ x_2 = a_x x'_2 + b_x y'_2 + c_x \\ x_3 = a_x x'_3 + b_x y'_3 + c_x \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} y_1 = a_y x'_1 + b_y y'_1 + c_y \\ y_2 = a_y x'_2 + b_y y'_2 + c_y \\ y_3 = a_y x'_3 + b_y y'_3 + c_y \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} z_1 = a_z x'_1 + b_z y'_1 + c_z \\ z_2 = a_z x'_2 + b_z y'_2 + c_z \\ z_3 = a_z x'_3 + b_z y'_3 + c_z \end{array} \right\} \quad (4.4)$$

Per tant, per obtenir els tres paràmetres només cal resoldre:

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} = \underbrace{\begin{bmatrix} x'_1 & y'_1 & 1 \\ x'_2 & y'_2 & 1 \\ x'_3 & y'_3 & 1 \end{bmatrix}}_{[\Psi]} \begin{bmatrix} a_x \\ b_x \\ c_x \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} a_x \\ b_x \\ c_x \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x'_1 & y'_1 & 1 \\ x'_2 & y'_2 & 1 \\ x'_3 & y'_3 & 1 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} \quad (4.5)$$

Anàlogament es poden obtenir els paràmetres per a les coordenades y i z. La matriu  $[\Psi]$  és constant per a cada peu en tots el moviments; és a dir que no cal que sigui

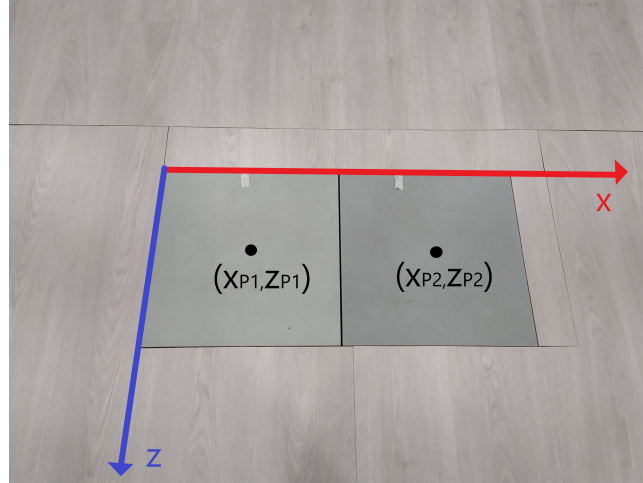


FIGURA 4.18: Coordenades dels centres de les plaques respecte les coordenades globals.

calculada per cada fotografia.

Havent obtingut la matriu  $[\Phi]$  corresponent un dels peus en un fotograma qual-sevol, ja es poden obtenir les coordenades globals del centre de pressions del peu a partir de les coordenades locals d'aquest:

$$\begin{bmatrix} x_{cp} \\ y_{cp} \\ z_{cp} \end{bmatrix} = [\Phi] \begin{bmatrix} x'_{cp} \\ y'_{cp} \\ 1 \end{bmatrix} \quad (4.6)$$

Els valors de  $y_{cp}$  no correspon a l'altura del centre de pressions de la planta del peu realment, sinó a un punt que està en el pla  $\pi$  i per tant a una altura superior a la de la planta del peu. Aquest fet però, no afecta el càlcul de moments, ja que només s'utilitzen les components  $x_{cp}$  i  $z_{cp}$ .

Quan el peu està alçat, encara que l'algoritme calculi igualment el centre de pressions, com que la força de reacció és nul·la, els moments provocats per les forces de contacte d'aquell peu també són nuls tal com haurien de ser teòricament.

Del calibratge de les càmeres, s'han obtingut les coordenades del centre de les plaques, que és el punt on calculem els moments. Així doncs, els moments calculats en cada fotograma són:

$$\begin{aligned} M_{z,D} &= F_{y,D}(x_{cp,D} - \Delta x_{P1}) \\ M_{x,D} &= F_{y,D}(z_{cp,D} - \Delta z_{P1}) \\ M_{z,E} &= F_{y,E}(x_{cp,E} - \Delta x_{P2}) \\ M_{x,E} &= F_{y,E}(z_{cp,E} - \Delta z_{P2}) \end{aligned} \quad (4.7)$$

$M_{x,D}$  i  $M_{z,D}$  són els moments que fa el terra sobre el peu dret, i  $M_{x,E}$  i  $M_{z,E}$ , sobre l'esquerra.

## 4.6 Mètodes d'avaluació de les diferències

Per tal de quantificar quines són les diferències entre els resultats obtinguts pels dos mètodes, s'ha utilitzat la mitjana quadràtica normalitzada (NRMS) de les diferències



dels moments articulars resultants de cada repetició. Donat el conjunt de valors dels moments articulars al llarg d'una repetició obtinguts per cadascun dels mètodes:

$$\vec{v}_{plaques} = (m_1, m_2, \dots, m_n)$$

$$\vec{v}_{plantilles} = (m'_1, m'_2, \dots, m'_n)$$

La NRMS de la diferència entre els dos vectors és:

$$NRMS = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (m_i - m'_i)^2}}{\max(\vec{v}_{plaques}) - \min(\vec{v}_{plaques})} \quad (4.8)$$

S'ha calculat la NRMS per cada repetició de cada moviment. Els resultats finals són la mitjana i la desviació per cada moviment.

S'ha calculat per separat la NRMS utilitzant la força vertical de les plantilles com a torsor d'enllaç peu terra i utilitzant també els moments  $M_x$  i  $M_z$ .

## 4.7 Moviments analitzats

El procés de comparació dels moments articulars, s'ha fet per quatre moviments diferents. A continuació es farà una breu descripció de cadascun d'ells. S'ha seguit el mateix procediment experimental i de tractament de dades per a tots els moviments. Al principi de la captura de tots els moviments, es realitza un seguit de salts sobre les plaques per després poder sincronitzar els temps de les diferents captures.

### 4.7.1 Caminar

Aquest moviment consisteix en fer una passada sobre les plaques, recolzant cada peu en una de les plaques. Primer el peu dret sobre la placa 1, seguit per l'esquerre sobre la placa 2. A continua.



FIGURA 4.19: Moviment de caminar

S'han capturat 6 repeticions d'aquest moviment, de les quals se'n han pogut aprofitar 5.

#### 4.7.2 Drop Jump

Aquest és un moviment molt utilitzat per a la prevenció de lesions en esportistes. Consisteix en deixar-se caure des d'una plataforma i acte seguit fer un salt vertical sobre la mateixa. Tot el moviment es fa amb les mans a la cintura.

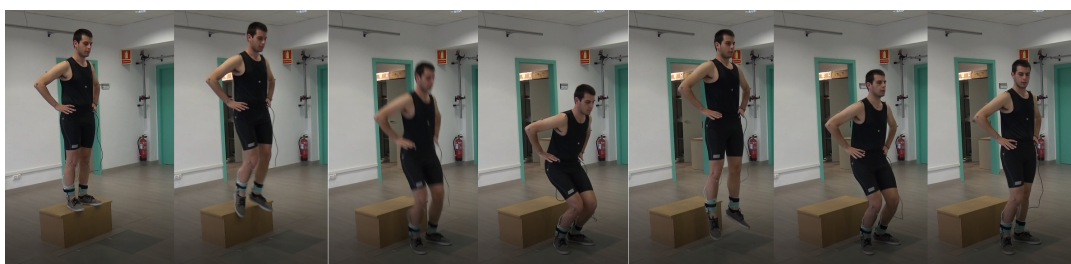


FIGURA 4.20: Moviment Drop Jump

S'han capturat 6 repeticions d'aquest moviment, de les quals se'n s'han aprofitat totes.

#### 4.7.3 Pujar i baixar escales

Aquest moviment, és molt semblant a caminar, però el peu esquerre es recolza sobre el primer esglaó, que està sobre la placa 2. En el moviment de baixada, es recolza el peu esquerre sobre l'esglaó i el peu dret sobre la placa 1.



FIGURA 4.21: Moviment de pujar i baixar escales

D'aquest moviment, s'han capturat i analitzat 8 repeticions.

#### 4.7.4 Aixecar-se i asseure's en una cadira

Aquest moviment, consisteix en aixecar-se i asseure's en una cadira, sense utilitzar les mans. De la mateixa manera que en la resta de moviments, es recolza la cama dreta sobre la placa 1 i la cama esquerra sobre la placa 2.



FIGURA 4.22: Moviment d'aixecar-se i asseure's en una cadira

Es van capturar un total de 10 pujades i 10 baixades de les quals es van utilitzar 8 de cada.



## 5 Resultats

En aquest capítol es mostren els resultats obtinguts en el desenvolupament d'aquest projecte que corresponen l'últim nivell del diagrama 4.11. En el primer apartat, es mostren gràficament els moments articulars obtinguts en cada moviment, utilitzant el torsor d'enllaç obtingut a partir de les plaques per una banda i l'obtingut a partir de les plantilles per l'altra. En el segon apartat, es mostren quantitativament les diferències entre l'ús dels dos torsors.

### 5.1 Moments articulars de les extremitats inferiors

Tal com s'ha explicat anteriorment, per fer la comparació entre els dos mètodes d'obtenció de les forces i moments del terra, es comparen els moments de flexió dels turmells, dels genolls i del maluc. Per a quantificar les diferències, s'ha calculat la mitjana quadràtica normalitzada (NRMS) de les diferències entre els moments obtinguts pels dos mètodes. Aquests resultats es poden veure a l'apartat 5.2.

A continuació es mostren els resultats obtinguts en el càlcul dels moments per a cadascun dels moviments. Per poder mostrar els resultats de totes les repeticions d'un mateix moviment, els gràfics mostren la distribució dels moments (mitjana i desviació) del conjunt de les repeticions. Com que les repeticions tenen durades diferents, s'ha obtingut els moments al llarg del percentatge de moviment realitzat (en comptes del temps) i s'ha calculat la mitjana i desviació en cada punt percentual del moviment. Els valors dels moments articulars que es prenen com a referència són els que es mostren en diferents colors. Aquests són els obtinguts a partir de les plaques. La línia negra és el valor mitjà dels moments a partir de les plantilles.

### 5.1.1 Caminar

En aquest cas, cal diferenciar la part del moviment en el qual la persona està recolzada completament a les plaques amb la que té contacte amb la superfície del terra exterior a les plaques. Això es deu al fet que les forces i moments del terra obtinguts a partir de les plaques només donen la informació completa de les forces i moments sobre el cos quan aquest està totalment recolzat sobre les plaques. Així doncs, els moments articulars corresponents als instants de temps en els quals hi ha un peu recolzat a les plaques i un al terra exterior a les plaques obtinguts a partir de les forces i moments de les plaques, no són vàlids ni comparables amb els obtinguts a partir de les plantilles.

A continuació, es mostra gràficament cadascun dels moments durant el moviment de caminar. La part ombrejada correspon a l'interval de temps que s'ha utilitzat per fer la comparació quantitativa dels moments.

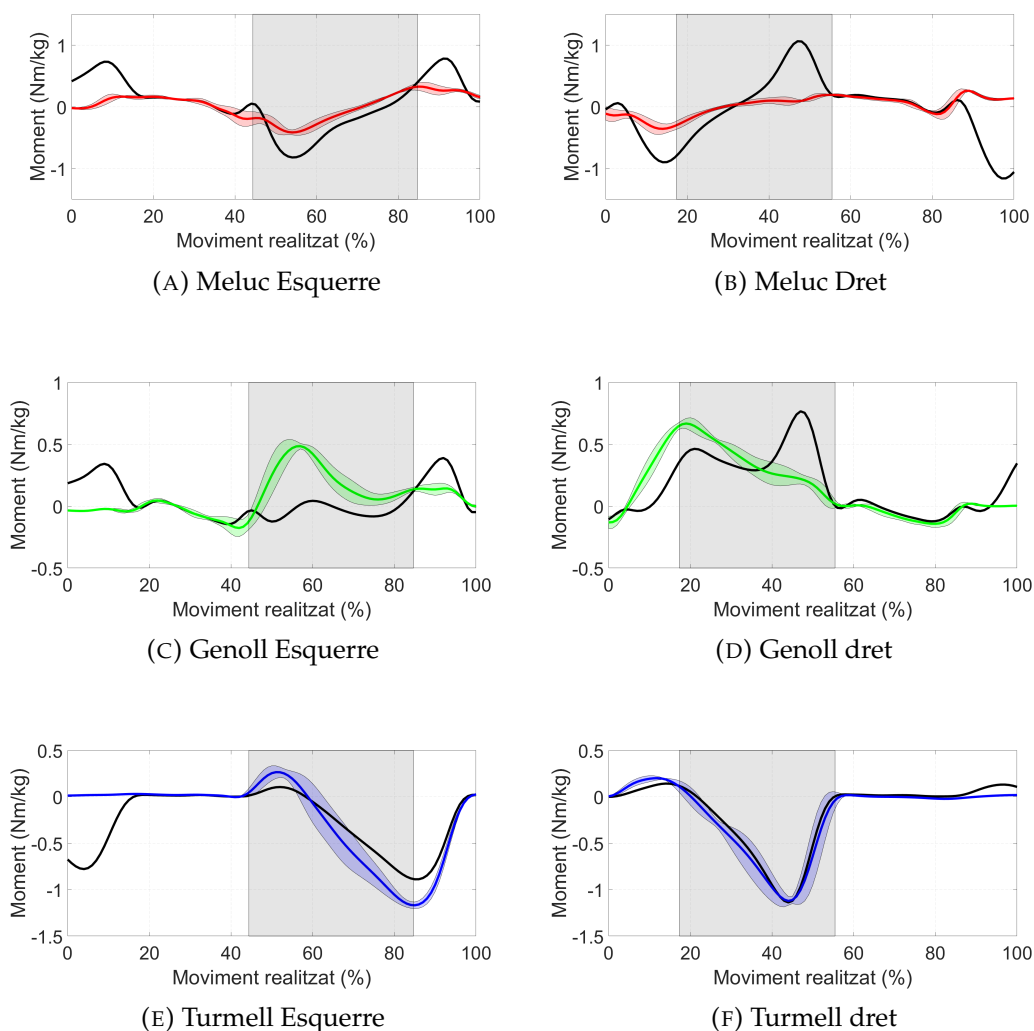


FIGURA 5.1: Gràfiques dels moments articulars durant el moviment de caminar. Les línies de colors corresponen als resultats obtinguts de les plaques. Les línies negres corresponen als de les plantilles.

### 5.1.2 Drop Jump

Tal com s'ha exposat a l'apartat 4.7, aquest moviment consta de dues parts, el salt des de la plataforma i el salt des del terra. Com que l'interval de temps entre els dos salts és diferent per a cada repetició, s'ha dividit el moviment en aquestes dues parts. El Drop Jump I representa el salt des de la plataforma, i el Drop Jump II, el salt des del terra.

En la figura 5.2, es poden observar els moments articulars durant el Drop Jump I.

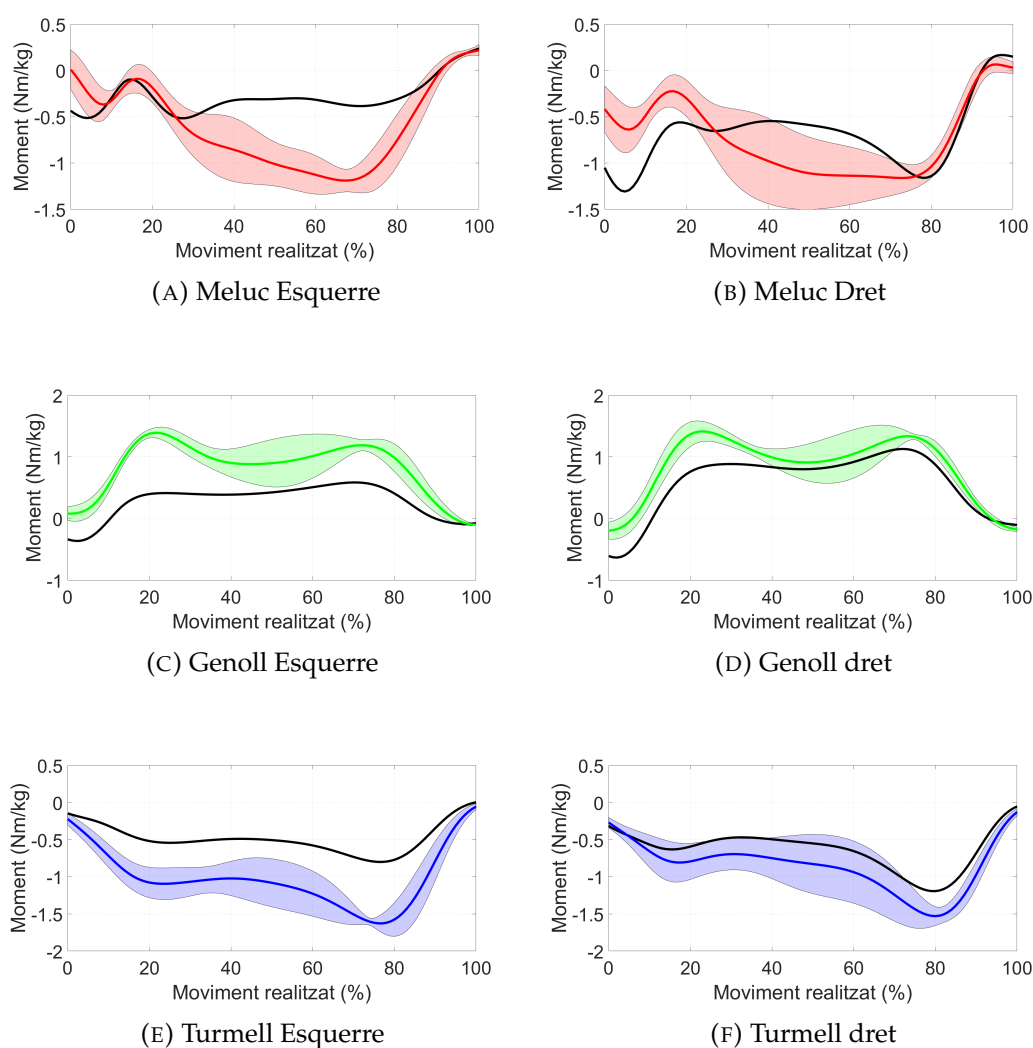


FIGURA 5.2: Gràfiques dels moments articulars durant el Drop Jump I. Les línies de colors corresponen als resultats obtinguts de les plaques. Les línies negres corresponen als de les plantilles.

A continuació, es poden veure els moments durant el Drop Jump II.



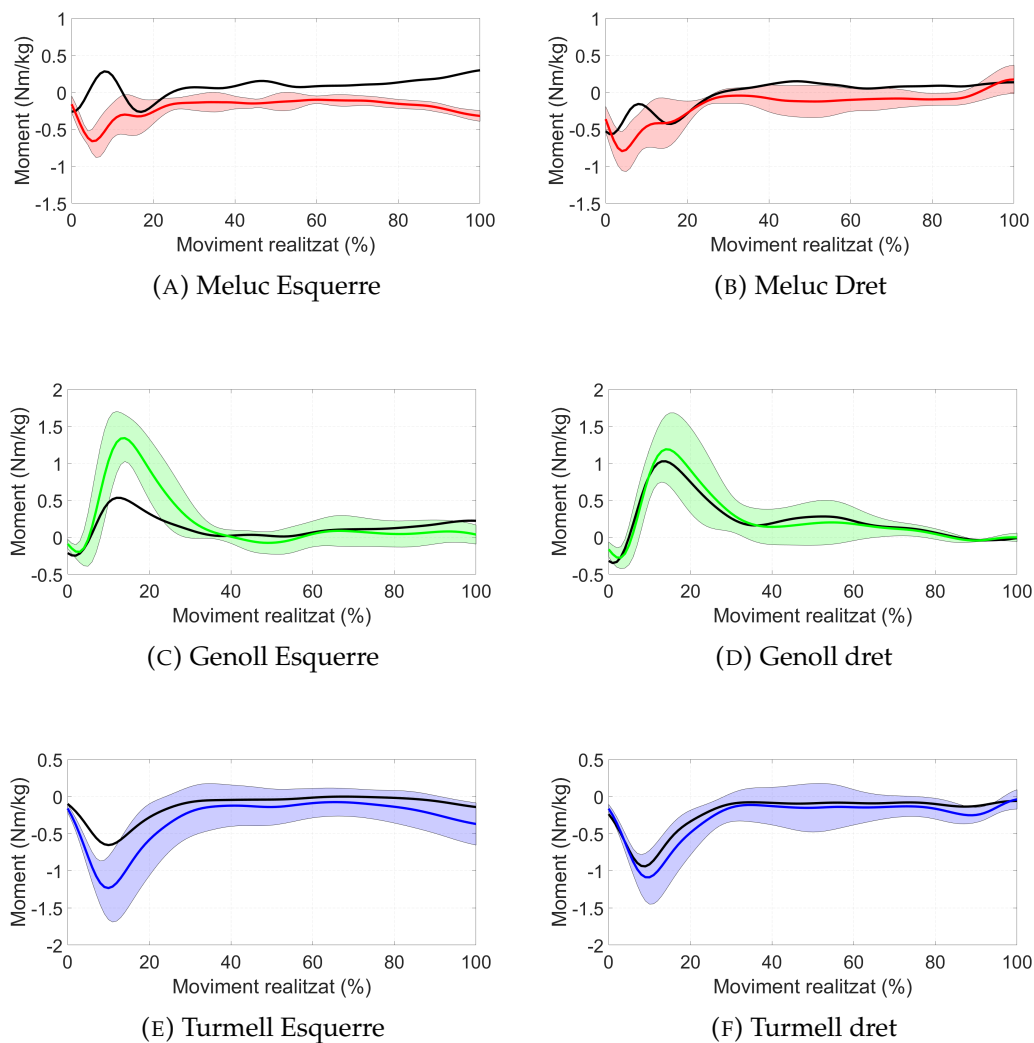


FIGURA 5.3: Gràfiques dels moments articulars durant el Drop Jump II. Les línies de colors corresponen als resultats obtinguts de les plaques. Les línies negres corresponen als de les plantilles.



### 5.1.3 Pujar i baixar escales

Aquest moviment té una estructura similar al de caminar, ja que per comparar els moments només podem prendre els instants de temps en els quals el cos està totalment recolzat sobre elles (en aquest cas, també sobre el primer graó). De la mateixa manera que en el Drop Jump, s'ha dividit l'estudi en dues parts, la pujada de les escales i la baixada.

Per a la pujada de les escales, s'han obtingut els següents moments articulars:

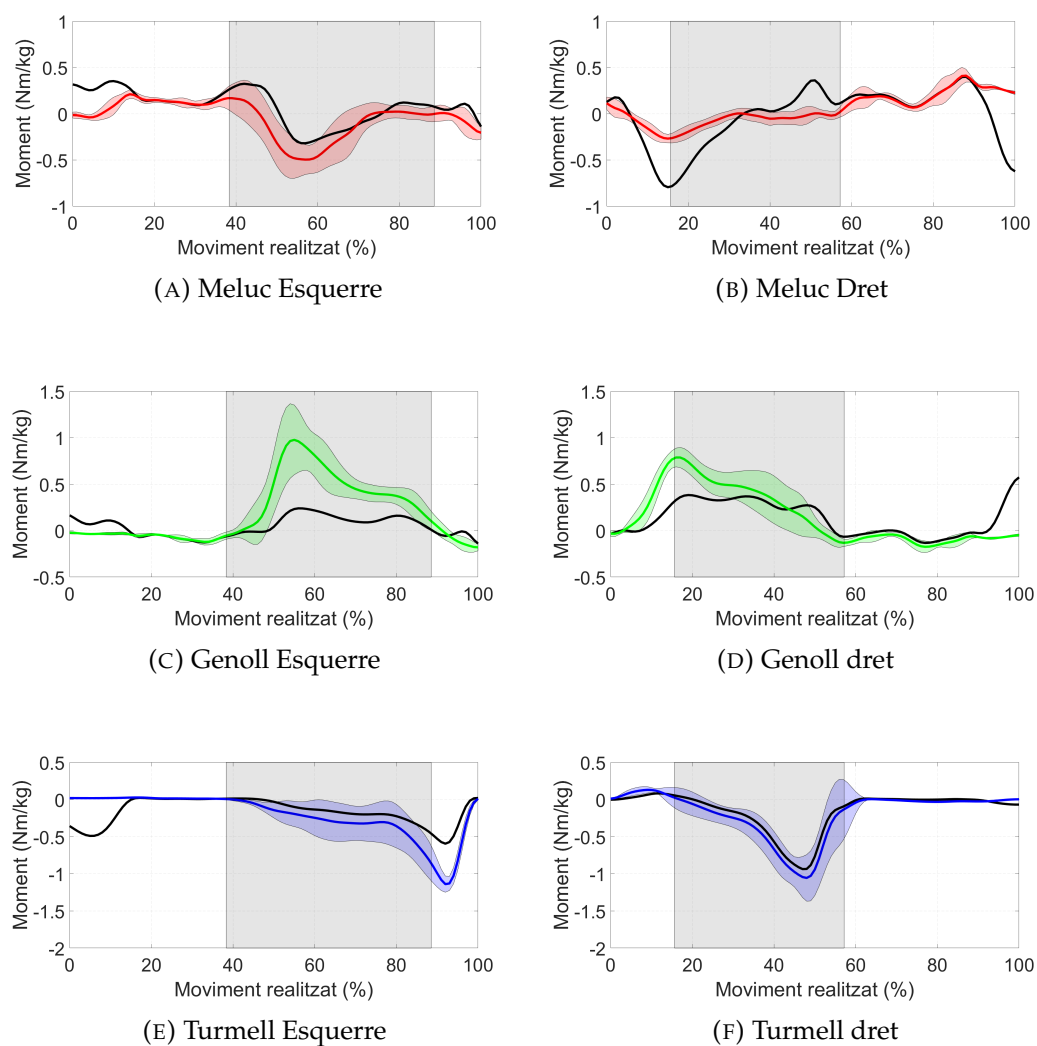


FIGURA 5.4: Gràfiques dels moments articulars durant la pujada d'escales. Les línies de colors corresponen als resultats obtinguts de les plaques. Les línies negres corresponen als de les plantilles.

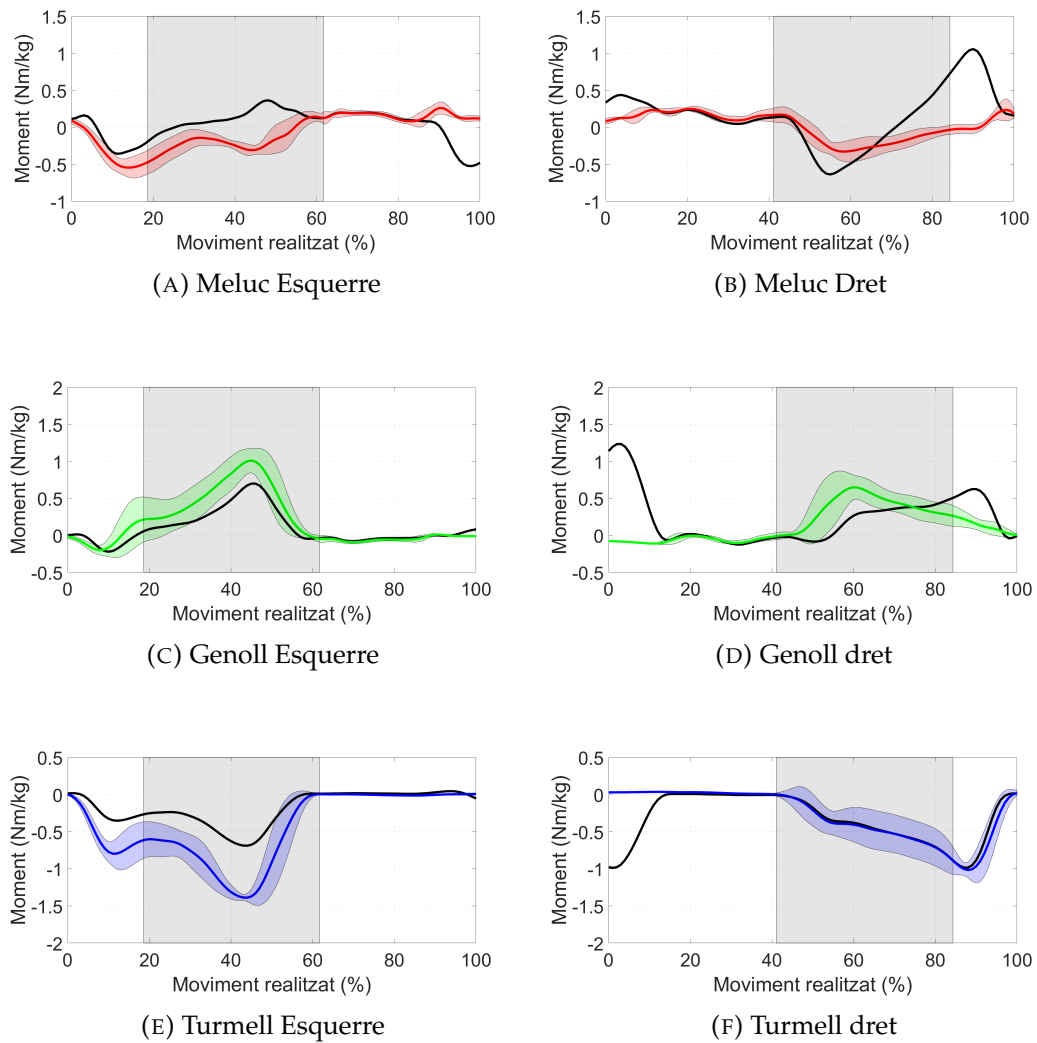


FIGURA 5.5: Gràfiques dels moments articulars durant la baixada d'escals. Les línies de colors corresponen als resultats obtinguts de les plaques. Les línies negres corresponen als de les plantilles.

### 5.1.4 Aixecar-se i asseure's en una cadira

Per poder analitzar aquest moviment, també s'ha separat en dues parts: quan la persona s'aixeca de la cadira i quan s'asseu. De la mateixa forma que amb els moviments de caminar i pujar escales, només podem comparar quan la persona està totalment recolzada en les plaques. En aquest cas, cal assegurar que en els intervals de temps en els quals es fa la comparativa, la persona no estigui en contacte amb la cadira.

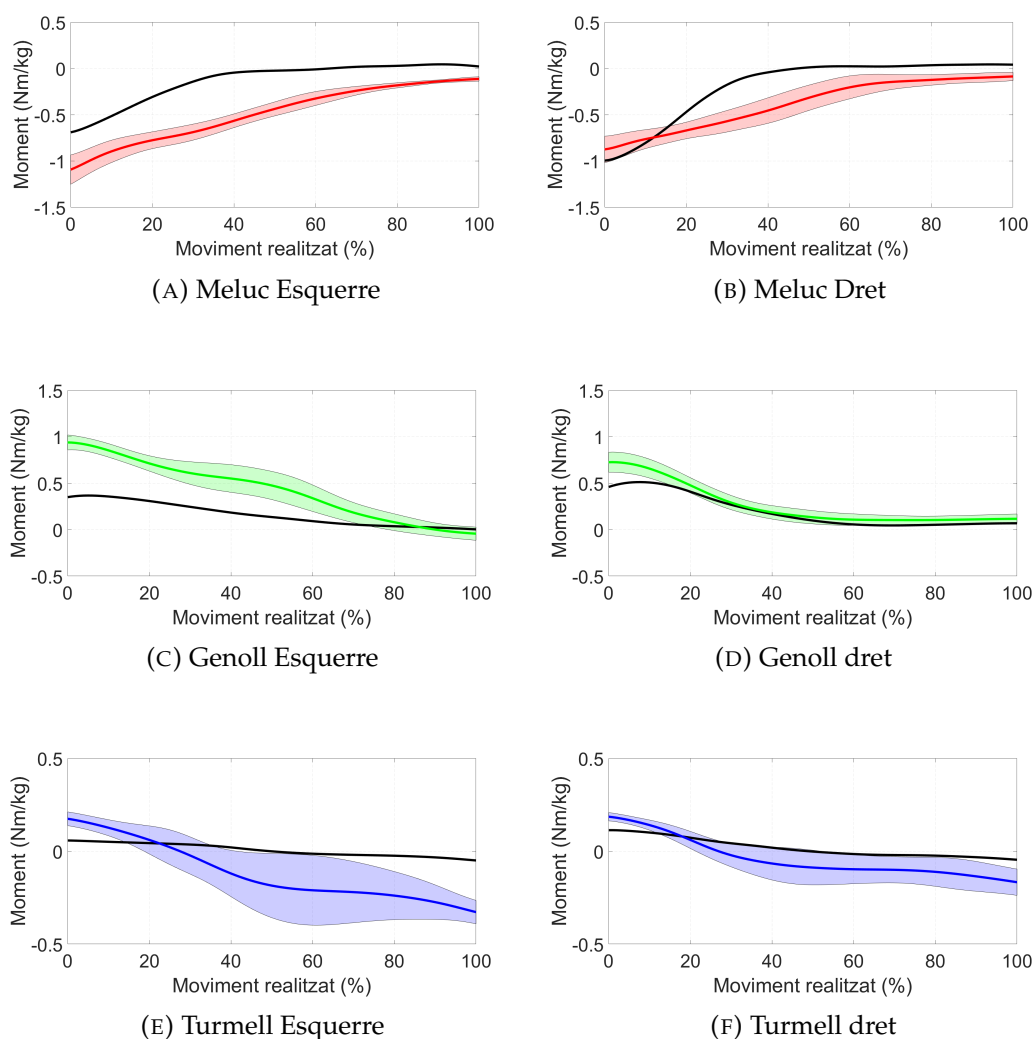


FIGURA 5.6: Gràfiques dels moments articulars durant el moviment d'aixecar-se de la cadira. Les línies de colors corresponen als resultats obtinguts de les plaques. Les línies negres corresponen als de les plantilles.

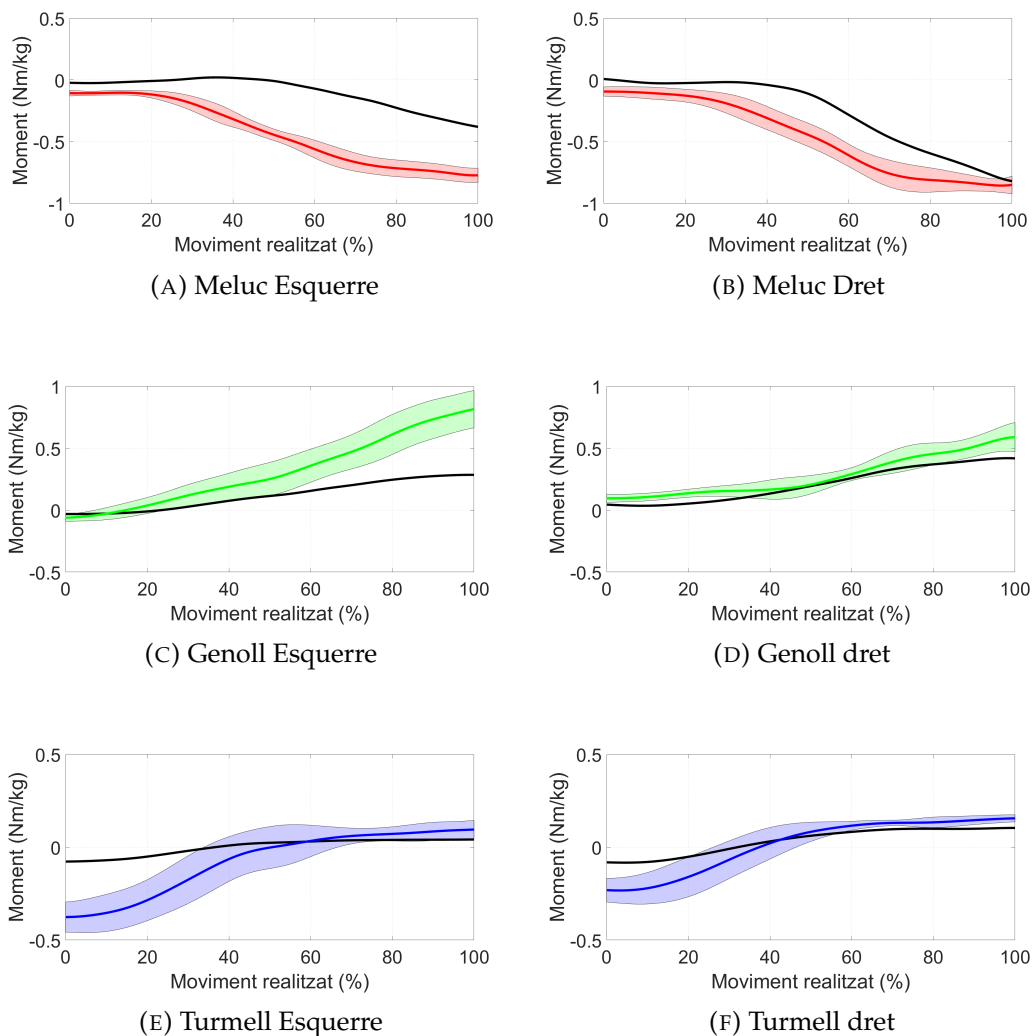


FIGURA 5.7: Gràfiques dels moments articulars durant el moviment d'asseure's a la cadira. Les línies de colors corresponen als resultats obtinguts de les plaques. Les línies negres corresponen als de les plantilles.

## 5.2 Diferències en els moments articulars

En aquest apartat, es mostra els resultats dels càlculs de la mitjana quadràtica normalitzada (NRMS) per a cada moviment. Per cada moviment, s'ha fet la diferència entre els moments obtinguts utilitzant el torsor d'enllaç complet a partir de les plaques, i el torsor d'enllaç que es pot obtenir a partir de les plantilles. Aquesta diferència s'ha fet per dos torsors de les plantilles diferents, un només a la força vertical  $F_y$ , i l'altre a partir d'aquesta força i dels moments que s'han pogut estimar a partir d'aquesta.

### 5.2.1 Caminar

Els resultats següents són els corresponents a les diferències de moments en els instants de temps que es mostren ombrejats en l'apartat anterior.

	Meluc		Genoll		Turmell	
	Dret	Esquerre	Dret	Esquerre	Dret	Esquerre
$F_y M_x M_z$	$0.97 \pm 0.23$	$0.33 \pm 0.11$	$0.42 \pm 0.06$	$0.45 \pm 0.04$	$0.07 \pm 0.01$	$0.14 \pm 0.02$
$F_y$	$1.85 \pm 0.43$	$0.69 \pm 0.19$	$1.11 \pm 0.13$	$0.82 \pm 0.14$	$0.44 \pm 0.06$	$0.45 \pm 0.04$

TAULA 5.1: Valors de la mitjana i la desviació estàndard de les NRMS de les diferències entre els moments articulars obtinguts a partir de les plantilles i els obtinguts a partir de les plaques en el moviment de caminar.

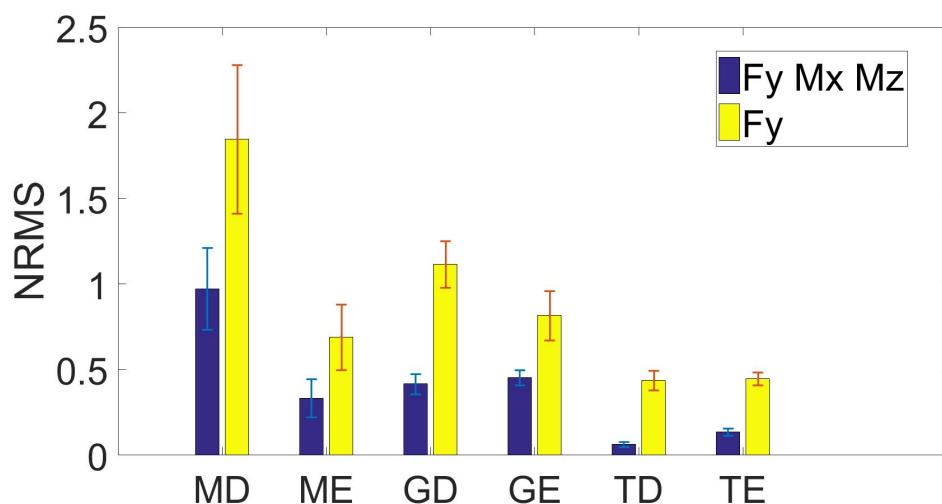


FIGURA 5.8: Representació gràfica de les NRMS en el moviment de caminar.

### 5.2.2 Drop Jump

Els valors presentats d'aquest moviment, inclouen el Drop Jump I i el Drop Jump II, sense incloure el temps en caiguda lliure entremig.

	Meluc		Genoll		Turmell	
	Dret	Esquerre	Dret	Esquerre	Dret	Esquerre
$F_y M_x M_z$	$0.19 \pm 0.03$	$0.28 \pm 0.02$	$0.12 \pm 0.01$	$0.23 \pm 0.03$	$0.10 \pm 0.02$	$0.22 \pm 0.04$
$F_y$	$0.26 \pm 0.03$	$0.32 \pm 0.06$	$0.21 \pm 0.09$	$0.21 \pm 0.04$	$0.25 \pm 0.15$	$0.28 \pm 0.07$

TAULA 5.2: Valors de les NRMS de les diferències entre els moments articulars obtinguts a partir de les plantilles i els obtinguts a partir de les plaques en el moviment Drop Jump.

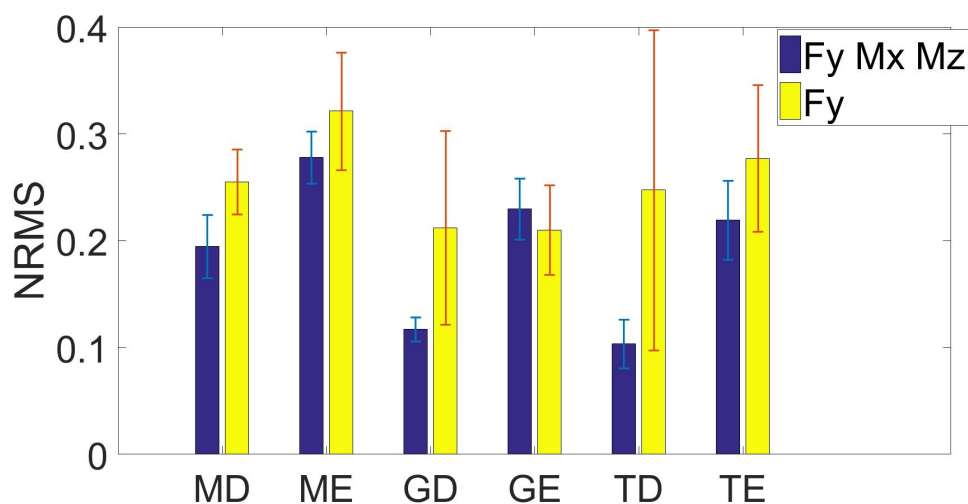


FIGURA 5.9: Representació gràfica de les NRMS en el moviment Drop Jump.

### 5.2.3 Pujar i baixar escales

Es presenten per separat els moviments de pujar i baixar les escales.

	Meluc		Genoll		Turmell	
	Dret	Esquerre	Dret	Esquerre	Dret	Esquerre
$F_y M_x M_z$	$1.02 \pm 0.68$	$0.27 \pm 0.06$	$0.21 \pm 0.04$	$0.35 \pm 0.04$	$0.09 \pm 0.03$	$0.20 \pm 0.07$
$F_y$	$2.45 \pm 1.53$	$0.76 \pm 0.29$	$0.58 \pm 0.05$	$0.76 \pm 0.13$	$0.39 \pm 0.04$	$0.68 \pm 0.70$

TAULA 5.3: Valors de les NRMS de les diferències entre els moments articulars obtinguts a partir de les plantilles i els obtinguts a partir de les plaques en el moviment de pujar escales.

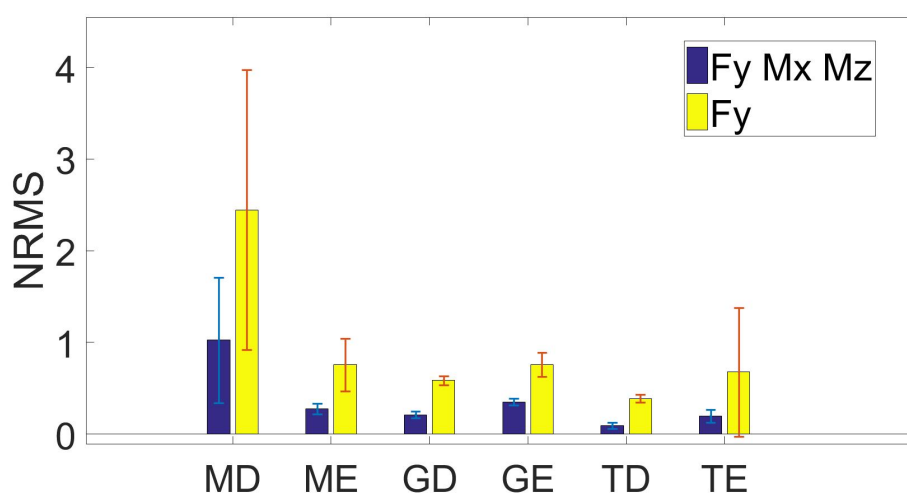


FIGURA 5.10: Representació gràfica de les NRMS en el moviment de pujar escales.

	Meluc		Genoll		Turmell	
	Dret	Esquerre	Dret	Esquerre	Dret	Esquerre
$F_y M_x M_z$	$0.91 \pm 0.40$	$0.57 \pm 0.15$	$0.38 \pm 0.10$	$0.22 \pm 0.06$	$0.05 \pm 0.02$	$0.35 \pm 0.03$
$F_y$	$1.32 \pm 0.63$	$1.62 \pm 0.36$	$0.75 \pm 0.36$	$0.43 \pm 0.09$	$0.42 \pm 0.21$	$0.88 \pm 0.10$

TAULA 5.4: Valors de les NRMS de les diferències entre els moments articulars obtinguts a partir de les plantilles i els obtinguts a partir de les plaques en el moviment de baixar escales.

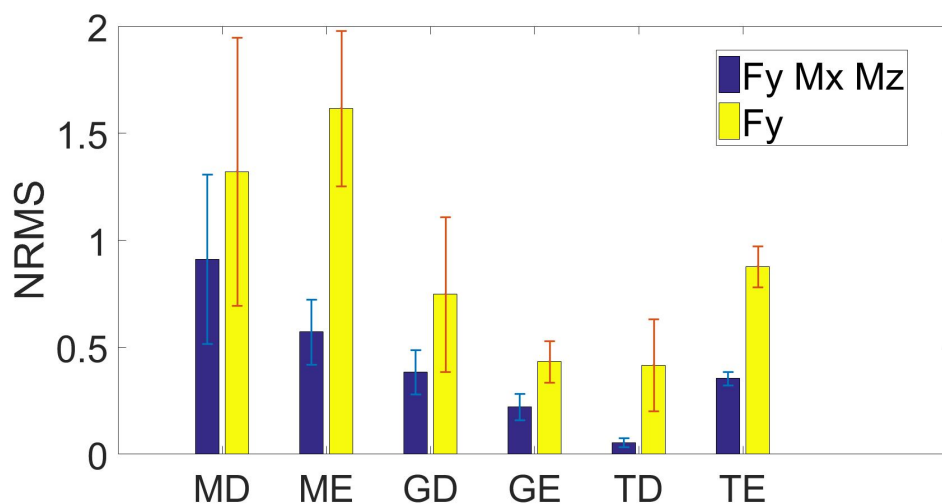


FIGURA 5.11: Representació gràfica de les NRMS en el moviment de baixar escales.

#### 5.2.4 Aixecar-se i asseure's en una cadira

De la mateixa manera que en l'apartat anterior, es presenten per separat els resultats obtinguts en les dues parts del moviment.

	Meluc		Genoll		Turmell	
	Dret	Esquerre	Dret	Esquerre	Dret	Esquerre
$F_y M_x M_z$	$0.33 \pm 0.14$	$0.39 \pm 0.23$	$0.14 \pm 0.89$	$0.33 \pm 0.05$	$0.23 \pm 0.03$	$0.35 \pm 0.05$
$F_y$	$0.57 \pm 0.12$	$0.23 \pm 0.08$	$0.89 \pm 0.08$	$0.77 \pm 0.15$	$1.53 \pm 0.53$	$0.91 \pm 0.40$

TAULA 5.5: Valors de les NRMS de les diferències entre els moments articulars obtinguts a partir de les plantilles i els obtinguts a partir de les plaques en el moviment d'aixecar-se d'una cadira.

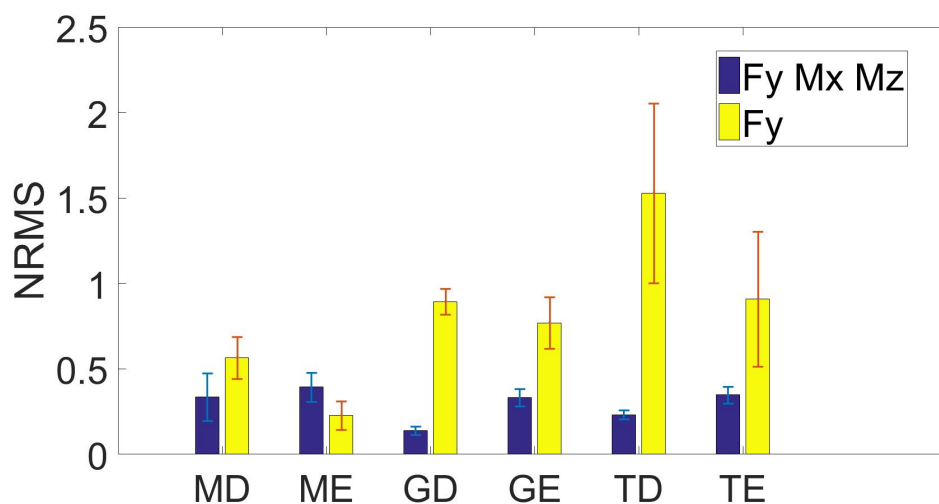


FIGURA 5.12: Representació gràfica de les NRMS en el moviment de pujar escales.

	Meluc		Genoll		Turmell	
	Dret	Esquerre	Dret	Esquerre	Dret	Esquerre
$F_y M_x M_z$	$0.29 \pm 0.04$	$0.54 \pm 0.06$	$0.16 \pm 0.03$	$0.28 \pm 0.04$	$0.19 \pm 0.04$	$0.32 \pm 0.07$
$F_y$	$0.52 \pm 0.09$	$0.16 \pm 0.09$	$1.31 \pm 0.21$	$0.71 \pm 0.07$	$1.63 \pm 0.37$	$0.86 \pm 0.19$

TAULA 5.6: Valors de les NRMS de les diferències entre els moments articulars obtinguts a partir de les plantilles i els obtinguts a partir de les plaques en el moviment d'asseure's en una cadira.

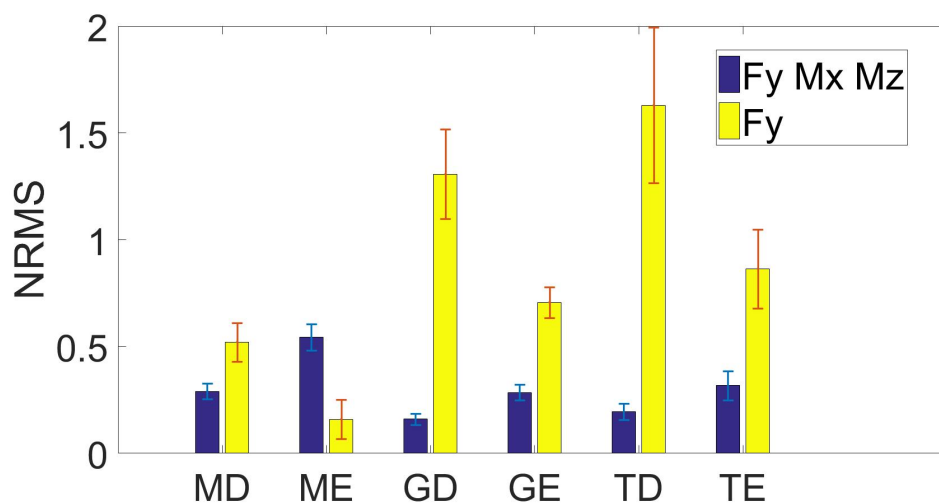


FIGURA 5.13: Representació gràfica de les NRMS en el moviment de baixar escales.



### 5.3 Gràfics de síntesi de les NRMS

S'ha fet una representació gràfica per tal de poder comparar de forma senzilla les NRMS un mateix moment articular en diferents moviments.

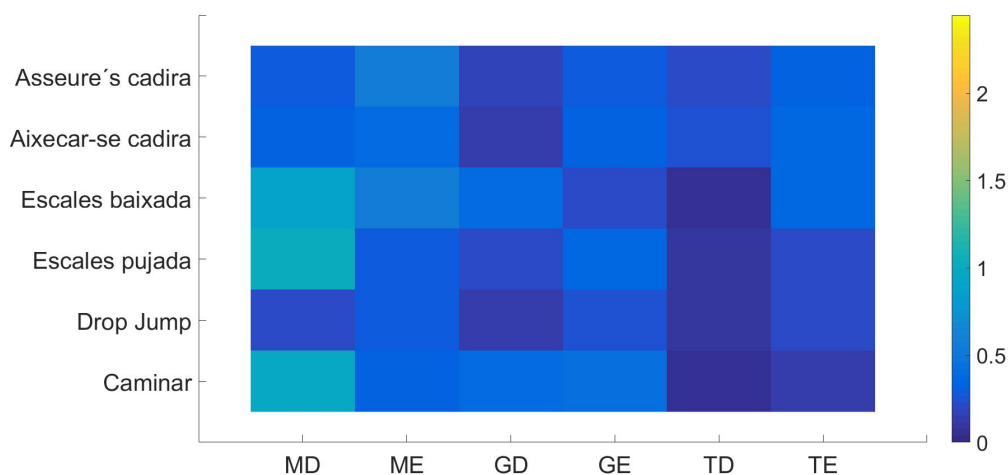


FIGURA 5.14: Representació gràfica de les NRMS de tots els moviments utilitzant  $F_y$ ,  $M_x$  i  $M_z$

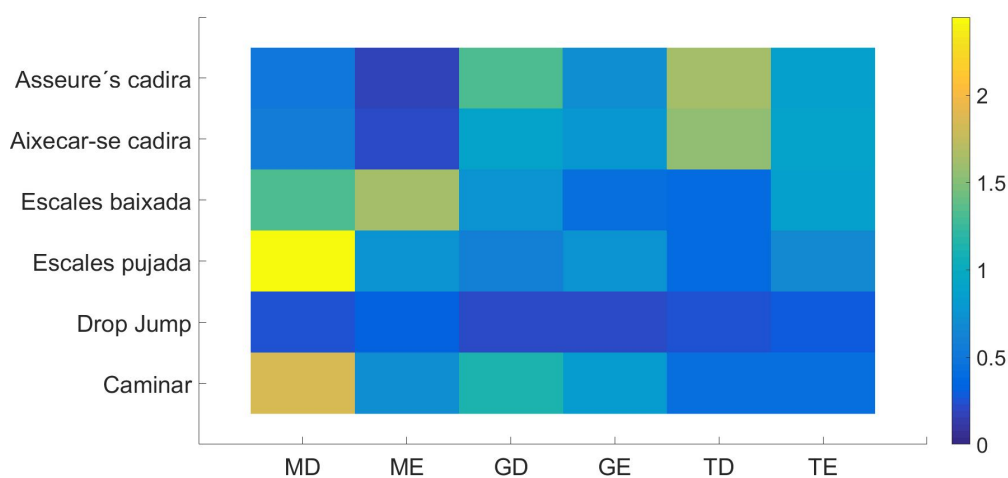


FIGURA 5.15: Representació gràfica de les NRMS de tots els moviments utilitzant  $F_y$



## 6 Discussió

Es pot observar que el moviment Drop Jump té els valors mitjans de NRMS més petits dels quatre moviments estudiats. Això es pot deure al fet que en aquest moviment, no hi ha gaire desplaçament horitzontal, i per tant el fet de no utilitzar la força  $F_x$ , no resulta tan significatiu com amb la resta de moviments. La variació entre utilitzar els moments  $M_x$  i  $M_z$  i no usar-los no és tan gran com en els altres moviments. En aquest moviment es podria considerar utilitzar únicament la força  $F_y$  per obtenir una aproximació dels moments articulars en el Drop Jump.

En general, l'articulació que presenta un error més petit és el turmell. Això es pot deure al fet que el moment que fa la força del terra en la direcció del moviment és petit a l'alçada del turmell, ja que la distància és molt curta en comparació amb les dues altres articulacions. És possible que utilitzant les plantilles per obtenir  $F_y$ ,  $M_x$  i  $M_z$ , es pugui obtenir una bona estimació dels moments articulars al turmell a falta de comprovar per més resultats experimentals.

Hi ha alguns valors de NRMS que difereixen molt entre la cama dreta i l'esquerra. Aquesta diferència pot ser provocada en part per les forces verticals mesurades per la plantilla del peu esquerre. Aquesta, ha mesurat uns valors de força vertical més petits que els de la plantilla del peu dret. Aquesta última en canvi, s'ajusta prou bé la força vertical que mesuren les plaques en tots els moviments.

Per poder afirmar aquestes observacions, caldria un estudi amb un nombre de repeticions major i que es realitzés en més persones.



## **7 Cost de realització i impacte del projecte**

### **7.1 Cost**

Per tal d'estimar el cost econòmic de la realització d'aquest projecte, s'ha tingut en compte les hores de feina que ha comportat la seva realització. Tal com dicta la Normativa de Pràctiques Acadèmiques Externes de la facultat, la compensació econòmica que reben els estudiants per aquest tipus d'activitat és d'un mínim de 8 €/h. Aquest treball té un pes acadèmic de 12 crèdits ECTS, que equivalen a unes 300 hores. Utilitzant aquest criteri, el cost de realització del projecte és de 2400 €.

No s'ha inclòs la devaluació de l'equipament utilitzat, ja que s'ha fet un total de dues captures durant tot el projecte.

### **7.2 Impacte mediambiental**

En aquest projecte no s'ha dissenyat ni creat cap producte, així que directament no ha generat cap residu material. Gran part del projecte ha estat d'anàlisi de dades amb ordinador, així que es podria tenir en compte l'ús d'energia elèctrica durant la realització del projecte.

### **7.3 Impacte social**

Aquest projecte és una primera comparació dels moments articulars obtinguts utilitzant dos mètodes d'obtenció del torsor d'enllaç peu-terra. Com s'ha explicat en la memòria, les plantilles permeten fer una mesura de les forces verticals durant un moviment en llocs que no necessàriament han d'estar preparats per a fer captures per una anàlisi biomecànica. Així doncs, la determinació de per quins moviments i quins moments articulars es poden obtenir amb certesa utilitzant les plantilles de força, podrien ser útils en un futur dins els camps de la biomecànica, la medicina, i la prevenció de lesions esportives.

L'ús de les plantilles, també pot comportar que es puguin fer aquestes captures en un hospital, sense que el pacient s'hagi de desplaçar fins a un centre que disposi de plaques de força.



## 8 Conclusions

L'objectiu principal d'aquest projecte era, utilitzant dinàmica inversa, obtenir una primera comparació entre els moments articulars de les extremitats inferiors per a diferents moviments obtinguts mitjançant plaques de força, d'una banda, i plantilles de pressió, de l'altra. Aquesta darrera metodologia té el valor afegit que l'equip pot ser mòbil. En aquest sentit, el desenvolupament del treball ha estat satisfactori ja que s'ha aconseguit quantificar les diferències amb les diferents captures preses.

Tot i això, aquest treball podria ser l'inici d'un projecte de més envergadura. Per això, al llarg del projecte, s'han anat plantejant algunes possibles millores que no s'han pogut dur a terme pel límit temporal que presenta un treball de final de grau, però que he considerat important d'esmentar.

En primer lloc, seria interessant fer més captures i amb diferents persones, amb l'objectiu d'obtenir uns resultats més representatius. Com a una possible continuació del treball, es podria considerar l'estudi de les diferències en els moments articulars en algun dels moviments, amb diferents persones amb característiques físiques variades.

En segon lloc, seria especialment interessant estudiar el moviment Drop Jump, per poder comprovar si l'estudi amb les plantilles és prou fiable per aquest moviment en concret ja que, tal com observem a l'estudi, és el moviment que ha presentat menys diferències entre l'ús de plantilles i plaques.

Un altre camí d'estudi podria ser fer una estimació de la resta de components del torsor d'enllaç peu-terra que no s'han utilitzat en aquest projecte. Un mètode d'obtenció de la força en la direcció del moviment recauria en l'estudi de l'acceleració del centre de masses del cos que es podria obtenir a partir dels resultats de cinemàtica inversa amb el programa OpenSim, ja usat en l'elaboració d'aquest treball.

Pel que fa al segon objectiu que em proposava, puc concloure que realment aquest projecte m'ha permès introduir-me en el món de la biomecànica i millorar el meu propi aprenentatge personal pel que fa a la utilització de programes com ara Motive, F-Scan i OpenSim. La biomecànica és una disciplina que no he estudiat al llarg dels meus estudis del Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials i per la qual sempre he tingut interès. Gràcies al Treball de Final de Grau, he tingut l'oportunitat d'escollir i desenvolupar un projecte d'aquest àmbit i característiques. He pogut seguir el procediment de realització d'un dels tipus d'anàlisi biomecànica des de la captura dels moviments fins a l'obtenció i discussió dels resultats, mitjançant l'ús de programes i equipaments específics i molt útils en la investigació en biomecànica.

La confecció d'aquest treball també m'ha permès introduir-me a la metodologia de

treball utilitzada en la recerca i la investigació, fet que valoro molt positivament ja que segur que em serà útil al llarg de la meva futura vida laboral.



## Bibliografia

- [1] Carina Price, Daniel Parker i Christopher Nester. "Gait & Posture Validity and repeatability of three in-shoe pressure measurement systems". A: *Gait & Posture* 46 (2016), pàg. 69 - 74. ISSN: 0966-6362. DOI: [10.1016/j.gaitpost.2016.01.026](https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2016.01.026). URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.gaitpost.2016.01.026>.
- [2] Thomas Stöggl i Alex Martin. "Validation of Moticons OpenGo sensor insoles during gait , jumps , balance and cross-country skiing specific imitation movements". A: *Journal of Sports Sciences* 35.2 (2017), pàg. 196 - 206. ISSN: 0264-0414. DOI: [10.1080/02640414.2016.1161205](https://doi.org/10.1080/02640414.2016.1161205). URL: <http://dx.doi.org/10.1080/02640414.2016.1161205>.